ACR INNOVATIONS-RADAR

Aktuelle Technologietrends für österreichische KMU

NACHHALTIGES BAUEN

UMWELTTECHNIK UND ERNEUERBARE ENERGIEN

LEBENSMITTELQUALITÄT UND -SICHERHEIT

PRODUKTE, PROZESSE, WERKSTOFFE

AUSTRIAN COOPERATIVE RESEARCH
KOOPERATION MIT KOMPETENZ

ACR INNOVATIONS-RADAR

Aktuelle Technologietrends für österreichische KMU

AUSTRIAN COOPERATIVE RESEARCH
KOOPERATION MIT KOMPETENZ

INHALT

ACR – AUSTRIAN COOPERATIVE RESEARCH
FORSCHUNGSEXPERTEN FÜR KMU
Haus der Forschung, Sensengasse 1, 1090 Wien
Tel. +431/219 85 73, Fax +431/219 85 73-13
office@acr.at, www.acr.at

1 NACHHALTIGES BAUEN

Einleitung 7
Grundlegendes zur Nachhaltigkeit 7
Energieeffizienz 11
Lebenszykluskosten 21
Literatur 26

2 UMWELTTECHNIK UND ERNEUERBARE ENERGIEN

Einleitung 29
Neu- und Weiterentwicklung von Bio-Brennstoffen,
deren Herstellung und Einsatz 30
Energie aus der Sonne
Solarthermie 39
Photovoltaik 43
Literatur 45

3 LEBENSMITTELQUALITÄT UND -SICHERHEIT

Einleitung 47
Lebensmittelproduktion/-produkte 47
Neu- und Weiterentwicklung von Getreide und Getreideprodukten 52
(Kunststoff-)Lebensmittelverpackungen 57
Literatur 66

4 PRODUKTE, PROZESSE, WERKSTOFFE

Einleitung 69
Neue Materialverbunde 70
Untersuchungsmethoden 76
Literatur 85

ACR-INSTITUTE 87

Vorwort

Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) sind wichtige Akteure für Wirtschaft und Beschäftigung und stellen in Österreich 99 % aller Unternehmen. Forschung, Entwicklung, Innovation und neue Technologien, Herstellungsprozesse etc. sind auch für KMU wesentliche Treiber für Wirtschaftswachstum und Wettbewerbsfähigkeit. Die Verbindung von KMU und Innovation ist deshalb der Schlüssel für eine dynamische sozio-ökonomische Entwicklung ganz Österreichs.

KMU sind aufgrund ihrer Strukturen (flachere Hierarchien und kleinerer Organisationsgrößen) besonders geeignet, von der Entwicklung und Einführung innovativer Technologien zu profitieren und dementsprechend zu einer dynamischen, zukunftsfähigen Volkswirtschaft beizutragen. Dies gilt nicht nur für typische Hochtechnologie-Branchen (z. B. Lebenswissenschaften, IKT), sondern in allen Sektoren der Industrie und des Gewerbes, des Handels und im Dienstleistungsbereich. Auch hier können KMU, bedingt durch ihre hohe Flexibilität, die größere Kundennähe, kürzere Entscheidungswege und ihre Fähigkeit, neue Entwicklungen sowohl am Markt als auch im Bereich des wissenschaftlichen Fortschritts rasch aufzunehmen und zu adaptieren, eine Schlüsselrolle für die Absicherung und Weiterentwicklung einer konkurrenzfähigen Gesamtwirtschaft einnehmen.

Innovationsprozesse stellen besondere Anforderungen sowohl an die Ausstattung, Organisation und Kreativität der Unternehmen als auch an die unternehmerischen Fähigkeiten. KMU sind von diesen Anforderungen insbesondere betroffen, da sie aufgrund spezifischer Herausforderungen (z. B. geringere finanzielle und Humanressourcen) größere Hürden zu überwinden haben. Zwei prinzipiell verschiedene Arten innovativer Tätigkeiten lassen sich in diesem Zusammenhang unterschieden: die eigene Entwicklung von Innovationen (die damit am ehesten dem klassischen Verständnis von Innovation entspricht) und die Einführung (d. h. der Einkauf und Einsatz) bereits existierender innovativer Lösungen, Technologien, Verfahren etc. durch ein Unternehmen. Letzteres ist für den Großteil der KMU deswegen von herausragender Bedeutung, da sie aufgrund der Ressourceneinschränkung zum Großteil keine eigenen Innovationsprozesse verfolgen (bzw. dies eher unregelmäßig, selten oder unsystematisch tun). Allerdings führt auch die Einführung (d. h. ohne oder nur mit geringem eigenen Entwicklungsanteil) z. B. eines neuen Herstellungsverfahrens zu innovationsbezogenen Anpassungsprozessen und damit letztlich zu Produktivitätswachstum und verstärkter Wettbewerbsfähigkeit. In jedem Fall ist die genaue Kenntnis aktueller Technologieentwicklungen dafür notwendig und essenziell.

Neben den, im Vergleich zu großen Unternehmen, begrenzten Ressourcen in den Bereichen Kapitalausstattung, Personal, Kompetenzen und Qualifikationen, die sich negativ auf das Innovationsverhalten und die Anwendung von neuen Technologien in KMU auswirken können, ist daher der Mangel an Informationen und Wissen über aktuelle Technologietrends eines der Haupthindernisse für eine innovationsbasiert steigende Wettbewerbsfähigkeit von österreichischen KMU. Fehlende oder nicht umfassend entwickelte Kenntnisse über mögliche innovative Lösungsansätze sowie insgesamt die zukünftige Entwicklung in ihren jeweiligen Branchen können aufgrund fehlender oder schwacher Vernetzung mit Forschungsorganisationen, fehlender Ressourcen für ein systematisches Markt- oder Technologiemonitoring oder teilweise gänzlich fehlendes Bewusstsein für die Chancen entstehen.

Die selbständigen Institute des ACR-Netzwerks forschen & entwickeln – mit und für KMU.

An diesen Herausforderungen setzen, neben den innovationsbezogenen und thematischen Strategien der entsprechenden Bundesministerien, auch außeruniversitäre Forschungseinrichtungen wie die ACR (Austrian Cooperative Research) an. Die außeruniversitäre Forschung insgesamt ist in der Lage, und betrachtet dies auch als eine ihrer zentralen Aufgaben, Impulse für Innovationen im Unternehmenssektor zu geben. Die ACR versteht sich als strategisches Netzwerk gemeinnütziger, selbständiger Forschungsinstitutionen zur Unterstützung und Förderung von Forschung, Entwicklung und Innovation mit spezieller Ausrichtung auf österreichische KMU. Dazu forschen und entwickeln ACR-Institute ergebnis- und umsetzungsorientiert entlang der Bedürfnisse der KMU in definierten Forschungsschwerpunkten mit dem Ziel der Intensivierung von angewandter Forschung und Entwicklung sowie von Technologietransfer mit und für KMU. Diese F&E-Schwerpunkte umfassen die vier Bereiche:

Nachhaltiges Bauen

- Nachhaltigkeit
- Energieeffizienz
- Gebäudesicherheit

Umwelttechnik & erneuerbare Energien

- Neu- und Weiterentwicklung von Biobrennstoffen und deren Herstellungsprozesse
- Biomasse-Kleinfeuerungen
- Nutzung direkter Solarenergie

Lebensmittelqualität & -Sicherheit

- Sichere Rohstoffe
- Innovative Verarbeitungsprozesse
- Funktionelle Verpackungssysteme

Produkte, Prozesse, Werkstoffe

- Produktentwicklung und Produktsicherheit
- Prozesskontrolle & Prozessoptimierung bei der Verarbeitung von Holz, Metallen, Kunststoffen und Beschichtungssystemen
- Werkstoffcharakterisierung und Werkstoffentwicklung, Mikro- & Nanoanalytik

Das vorliegende Innovationsradar der ACR orientiert sich an diesen Schwerpunkten und übernimmt im Zusammenhang mit der Zielsetzung einer insgesamt stärkeren Innovationsneigung und -leistung österreichischer KMU im Allgemeinen sowie der Kunden-, d.h. KMU-Orientierung der ACR im Besonderen die Aufgabe, interessierten kleinen und mittleren Unternehmen eine Informationsbasis über aktuelle Technologie- aber auch Markttrends zur Verfügung zu stellen. Die einzelnen Teile des ACR-Innovationsradars richten sich an jene Unternehmen, die für bestimmte Sektoren Informationen darüber benötigen, welche Technologien derzeit bzw. demnächst zur Verfügung stehen (werden) und welche konkreten Chancen und auch Risiken technologischer oder unternehmerischer Art damit verbunden sind.

1

NACHHALTIGES BAUEN

Klimawandel und Ressourcenmangel fordern neue Baukonzepte. Mehr denn je braucht es Überlegungen hinsichtlich Nachhaltigkeit, Lebenszyklus und Energieeffizienz.

EINLEITUNG

Nachhaltiges Bauen umfasst zahlreiche Aspekte, deren umweltpolitischer, wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Stellenwert gerade in den letzten Jahren deutlich angestiegen ist. Die Erfassung sämtlicher Branchen auch der österreichischen Immobilienwirtschaft von einem zunehmend nach Nachhaltigkeitskriterien auszurichtenden Wirtschafts- und Sozialsystem zeigt sich deutlich in einer zunehmenden Schaffung internationaler und nationaler Normen und systemischen Rahmenbedingungen, den aktuellen Forschungsschwerpunkten sowie der Entwicklung innovativer Technologien, Produkte und Prozesse.

Im vorliegenden Innovationsradar zum Schwerpunktfeld Nachhaltiges Bauen werden infolge des hohen umweltpolitischen und energie- sowie immobilienwirtschaftlichen Stellenwerts aktuelle technologische Trends sowie Rahmenbedingungen und für KMU marktrelevante Entwicklungen zu Fragen der *Nachhaltigkeit, Energieeffizienz* und *Lebenszykluskosten* von Bauwerken beschrieben. Im Teil *Energieeffizienz* stehen zunächst verschiedene Trends, wie z. B. die thermische Bauteilaktivierung als Technologie in der Kühl- und Heizungstechnik und Innovationen im Bereich der Ziegelbauweise sowie der Energiegewinnung mittels solarthermischer Kollektoren bzw. neue Techniken der Wärmespeicherung im Mittelpunkt. Der Teil *Lebenszykluskosten* widmet sich den langfristigen, wirtschaftlichen Aspekten bei Bauwerken der Verkehrsinfrastruktur, bei Heizkesselanlagen und Raumheizgeräten, bei solarthermischen Systemen sowie bei der Verwendung von umweltresistenten Materialien und Befestigungstechniken.

GRUNDLEGENDES ZUR NACHHALTIGKEIT

Der Begriff der nachhaltigen Entwicklung (sustainable development) wurde im „Brundtland-Bericht" (Report of the World Commission on Environment and Development, „Our Common Future") von der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung 1987 geprägt. Dabei bezieht man sich im Wesentlichen darauf, dass sich eine Entwicklung als nachhaltig definieren lässt, sofern die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt werden, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können. Die EU hat sich daher das Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2020 den Ausstoß von Treibhausgasen um 20 % im Vergleich zu 1990 zu reduzieren[1]. Darüber hinaus soll der Anteil der erneuerbaren Energiequellen am Bruttoendenergieverbrauch bis 2020 auf 20 % und die Energieeffizienz bis dahin um 20 % im Vergleich zu einem „business as usual"-Szenario gesteigert werden.[2]

In diesem Zusammenhang sind auch *neue nachhaltige Baukonzepte* gefordert, die Überlegungen hinsichtlich Nachhaltigkeit, Lebenszyklus und vor allem Energieeffizienz berücksichtigen. Insbesondere wird der Betriebs-/Nutzungsphase noch immer zu wenig Bedeutung im Entscheidungsprozess beigemessen. Der volkswirtschaftliche Druck steigt, geeignete Möglichkeiten und Technologien müssen aufbereitet werden. Zu diesen Faktoren kommen zunehmend klimatische Veränderungen mit ihren Auswirkungen wie die Naturkatastrophen Hagel, Sturm oder Starkregen, die die Gebäudesicherheit und Beständigkeit beeinflussen.[3,4] Beispielsweise ist die Zunahme der Hagelereignisse an Bauwerken in Österreich[5] dokumentiert. Diese Schadenskosten wirken sich nicht nur volkswirtschaftlich aus, sondern künftig auch direkt auf Kosten wie Prämien und Instandsetzungen.

Im Rahmen der europäischen Normung (Technisches Komitee CEN/TC 350 „Nachhaltigkeit von Bauwerken") zur Nachhaltigkeit auf Basis des Mandats 350 der Europäischen Kommission an

Die neue Bauprodukte-VO beinhaltet die grundlegende Anforderung an Bauwerke, natürliche Ressourcen nachhaltig zu nutzen.

CEN wurde der Begriff *Nachhaltigkeit in Zusammenhang mit Gebäuden* weit gefasst. Er beinhaltet neben der ökologischen auch noch die ökonomische und soziale bzw. soziokulturelle Komponente der Nachhaltigkeit. Bauprodukte sind daher nicht unmittelbarer Betrachtungs- und Bewertungsgegenstand. Sie sind vielmehr Quelle von Informationen, die in ihren Auswirkungen auf das Bauwerk und seinen Lebenszyklus zu bewerten sind und deren ökologische, ökonomische und soziale Vorteilhaftigkeit für das Gebäude, quantitativ belegbar, nachzuweisen ist. Dieser Nachweis erfolgt mittels **Zertifizierungssystemen**, so genannten Green Building Labels auf Gebäudeebene. Voraussetzung für eine entsprechende Beurteilung der ökologischen Qualität im Rahmen dieser Gebäudezertifikate stellen diesbezüglich vorhandene Produktdaten dar.

Für die Auswahl von Bauprodukten, besonders im Rahmen von Gebäudezertifizierungen werden eine Fülle von Informationen über die eingebauten Bauprodukte benötigt. Am 9. März 2011 ist die neue BauprodukteVO (Verordnung (EU) Nr. 305/2011) in Kraft getreten. *Künftig werden daher ökologische Indikatoren verstärkt nachgefragt werden*, da die neue Grundanforderung 7 – Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen – einen entsprechenden Nachweis erfordert. *Das Bauwerk muss derart entworfen, errichtet und abgerissen werden, dass die natürlichen Ressourcen nachhaltig genutzt werden* und insbesondere Folgendes gewährleistet ist:

(a) Das Bauwerk, seine Baustoffe und Teile müssen nach dem Abriss wiederverwendet oder recycelt werden können;
(b) Das Bauwerk muss dauerhaft sein;
(c) Für das Bauwerk müssen umweltverträgliche Rohstoffe und Sekundärbaustoffe verwendet werden.

Eine Möglichkeit des Nachweises der Umweltperformance eines Produkts stellen die **Umweltdeklarationen**, kurz EPDs (Environmental Product Declarations), dar. EPDs sind vorwiegend für die Kommunikation zwischen Unternehmen („Business-to-Business" Communication) vorgesehen und stellen Daten zur Gebäudebewertung zur Verfügung. Tatsächlich beschränken sich EPDs darauf, Umwelteigenschaften offenzulegen. Sie nehmen keine Bewertung der Ergebnisse oder gar Auszeichnung der Produkte vor. Als wesentliches Element beinhaltet eine Umweltdeklaration eine *Ökobilanz* (Life Cycle Assessment, LCA). Gemäß EN 15804 müssen die Ökobilanzen eine ganze Reihe von *insgesamt 24 Indikatoren*, vom Globalen Erwärmungspotenzial (Global Warming Potential, GWP) bis zum Einsatz von Süßwasserressourcen, ausweisen. Die Indikatoren sollen nach den Lebensphasen eines Gebäudes (Produktherstellung – Bauprozess – Nutzung – Entsorgung) aufgeschlüsselt werden. Weiterhin erfolgen Angaben zu den technisch-funktionalen Eigenschaften und zu produktspezifisch relevanten Prüfungen, die beispielsweise den Einfluss des Produkts auf die Innenraumluftqualität charakterisieren.

Umweltdeklarationen nach ÖNORM EN ISO 14025 stellen quantitative umweltbezogene Daten auf der Grundlage festgelegter Parameter bereit und, falls notwendig, ergänzende Umweltinformationen. Es müssen alle maßgeblichen Umweltaspekte des betrachteten Produkts im Verlauf des Lebenswegs berücksichtigt werden. Die festgelegten Parameter gründen sich auf die ISO 14040 Normenreihe („Ökobilanz-Normen"). Die zusätzlichen umweltrelevanten Angaben können quantitativ oder qualitativ sein (ÖNORM EN ISO 14025).

Umweltdeklarationen sind in erster Linie für den Informationsaustausch innerhalb der anbietenden Wirtschaft gedacht. Der Ausarbeitung einer Umweltproduktdeklaration geht die

Erstellung von Produktkategorie-Regeln (PKR) voraus. Diese PKR stellen dann (zusätzlich zur Normung) die Basis für die Erstellung von EPDs dar. In den PKR werden die Produktkategorien definiert und deren typische Umweltwirkungen geregelt. Sie enthalten alle produktspezifischen Regeln, Anforderungen und Prüfverfahren. Die Produktkategorie-Regeln werden unter Einbeziehung der interessierten Kreise erarbeitet und durch ein Gremium unabhängiger Dritter überprüft. Grundlagen für Produktkategorie-Regeln sind in der EN 15804 zusammengestellt.

Relevante Normen hierzu sind demnach (teilweise noch in der Entwurfsphase):

- ÖNORM EN ISO 14025 Umweltkennzeichnungen und -deklarationen – Typ III Umweltdeklarationen – Grundsätze und Verfahren (ISO 14025: 2010). Juli 2010;
- ÖNORM EN ISO 14040 Umweltmanagement – Ökobilanz – Prinzipien und allgemeine Anforderungen (ISO 14040: 2006). Oktober 2006;
- ÖNORM EN ISO 14044 Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006), Oktober 2006; ISO 21930 Building construction – Sustainability in building construction – Environmental declaration of building products. Oktober 2007;
- ÖNORM EN 15804 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltdeklarationen für P rodukte – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte. März 2012;
- FprEN 15942 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklaration – Kommunikationsformate: zwischen Unternehmen. Mai 2011;
- FprEN 15978 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode. Mai 2011 (Schlussentwurf);
- FprEN 15978 Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Methodology and data for generic data. April 2009 (Schlussentwurf).

Eine weitere, allerdings reduzierte Form der ökologischen Charakterisierung stellt die **CO_2-Bilanz** (CO_2-Fußabdruck, carbon footprint/CFP) dar. Sie ist bei Bauprodukten noch kaum verbreitet, findet aber im Lebensmittelbereich europaweit und auch in Österreich bereits Anwendung. Der carbon footprint stellt die Treibhausgasbilanz (Leitsubstanz CO_2 und alle treibhausrelevanten Gase mit deren Wirksamkeit bezogen auf die Leitsubstanz) eines Produktes dar und kann somit als ein, wenn auch wesentlicher, Teilaspekt einer Umweltdeklaration angesehen werden. Wesentliche Normenwerke, welche die Grundlage der Erarbeitung eines CFP bilden, sind:

- ISO/CD 14067-1 Carbon footprint of products – Part 1: Quantification;
- ISO/CD 14067-2 Carbon footprint of products – Part 2: Communication.

Abbildung 1: Geographische Zuordnung der Gebäudezertifizierungssysteme (Quelle: HFA)

Green Building Labels
BREEAM, Großbritannien
LEED, USA
DGNB, Deutschland
klima:aktiv, Österreich
TQB, Österreich
ÖGNI, Österreich
green star, Australien
green star Südafrika, Südafrika
green star NZ, Neuseeland
CASBEE, Japan
HQE, Frankreich
SBTool und LEED Kanada, Kanada
IGBC und LEED, Indien

In den letzten Jahren wurden in vielen Ländern nationale, aber auch international angewandte **Green Building Labels** (in Österreich: ÖGNI, klima:aktiv, TQB) entwickelt. Ausgereifte Zertifizierungssysteme sind ein detaillierter Leitfaden, der alle notwendigen Nachhaltigkeitsaspekte umfasst und deren Umsetzung im Bauprozess quantifizier- und vergleichbar veranschaulicht[6]. Neben vielen privaten Initiativen gibt es auch auf europäischer (CEN TC 350) und internationaler Ebene (ISO/TC 58/SC 17) Bestrebungen ein umfassendes, harmonisiertes Regelwerk zur Gebäudezertifizierung zu erarbeiten[7].

Aktuelle Normenentwürfe hierzu sind:

- FprEN 15643-1 Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden – Teil 1: Allgemeine Rahmenbedingungen;
- FprEN 15643-2 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden – Teil 2: Rahmenbedingungen für die Bewertung der umweltbezogenen Qualität;
- prEN 15643-3 Nachhaltigkeit von Bauwerken - Integrierte Bewertung der Qualität von Gebäuden – Teil 3: Rahmenbedingungen für die Bewertung der sozialen Qualität;
- prEN 15643-4 Nachhaltigkeit von Bauwerken - Integrierte Bewertung der Qualität von Gebäuden – Teil 4: Rahmenbedingungen für die Bewertung der ökonomischen Qualität;
- prEN 15978 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bestimmung der Umweltleistung von Gebäuden – Berechnungsmethode;
- prEN 15942 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen- Kommunikationsformate zwischen Unternehmen.

Im Bereich der nachhaltigen Gebäudesicherheit gibt es z.B. im D-A-CH-Raum (Deutschland, Österreich, Schweiz) Bestrebungen, (ökologische) Baumaterialien und Bauprodukte hinsichtlich ihrer Hagelresistenz zu klassifizieren. Dies basiert auf den Bemühungen der Schweiz, wo durch die Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF) ein dementsprechender Standard geschaffen wurde, der nun auch in Österreich zur Anwendung kommt.[8,9] Eine europaweite Standardisierung der bislang nur regionalen Regelungen für Windlasten wird angestrebt.

ENERGIEEFFIZIENZ

Der von Jahr zu Jahr stärker werdende Trend zum nachhaltigen bzw. ressourceneffizienten Bauen zeigt sich in einem beachtlichen Interesse an „grünen Produkten". Dies spiegelt sich vor allem bei Geräten wider, die auf Energieeffizienz in Gebäuden setzen. Derzeit investieren viele private Haushalte und Unternehmen in neue ressourceneffiziente Technologien. Von energieeffizienten Einbaugeräten (z. B. Kühlschränken) über hochwärmegedämmte Fenster und Türen bis zu zertifizierten Holzprodukten und anderen recyclierbaren Materialien wird alles unter dem Begriff „grünes Bauen" zusammengefasst.

- Da immer mehr Länder Investitionen in diesem Sektor vorantreiben und verschiedenste Anreize setzen, wird sich der Zuspruch für „grünes Bauen" weiterhin verstärken. In vielen Ländern gibt es bereits diverse Produktzertifizierungen, welche die Entscheidung für ein „grünes Produkt" erleichtern sollen.
- In den nächsten Jahren wird sich dieser Trend auch bei Gewerbebauten wieder deutlicher zeigen. Nachdem im Jahr 2010 ein dramatischer Einbruch in diesem Sektor zu verzeichnen war prognostizieren FachexpertInnen einen Aufschwung.
- Der Blick wird weiterhin vermehrt auf die Verwendung grüner Technologien bei Renovierungen gelegt. Leistbare Energie- und Wasserspeichergeräte werden diesen Trend begleiten und sollten für die Hersteller herausragende ökonomische Chancen bieten.
- Auch im Bereich der effizienten Nutzung von Wasser zeichnet sich ein Umdenken ab. Dem Einsatz von sparsamen Einrichtungsgegenständen, Regenwassernutzungssystemen und anderen innovativen Wassertechnologien, die den Verbrauch von Wasser nachhaltig reduzieren, wird ebenfalls ein großes Marktpotenzial attestiert.
- Nullenergiehäuser, also Gebäude die keine externe Energie beziehen, sondern ausschließlich selbst erzeugte Energie verbrauchen, werden vermehrt als Standard angesehen. Von einer Produktsichtweise ergeben sich hier beispielweise Chancen für Hersteller von dreifach verglasten Fenstern oder Energieüberwachungssystemen.
  Der Ausweis des Energieverbrauchs bei Immobilien stellt einen weiteren Trend dar und wird sich als entsprechender Nachfragefaktor etablieren.
- Solarenergie wird weiterhin eine große Rolle im Bereich des „grünen Bauens" spielen. Möglichkeiten für Unternehmen bestehen vor allem bei neuen Solarkollektoren auf Dächern, die kostengünstig installiert werden können.
- Energiesparende Maßnahmen werden umfassender wahrgenommen. Die Entwicklung von Systemen, die eine genaue Überwachung des Verbrauchs über das Internet ermöglichen, steht im Mittelpunkt dieses Trends. Die Verwendung von Energiemessgeräten stellt dabei eine Möglichkeit dar, den Energieverbrauch festzustellen und damit Sparmaßnahmen umzusetzen. Daher gibt es bei der Herstellung von solchen Geräten und Anwendungen ein großes Potenzial, das noch lange nicht ausgeschöpft ist.
- Die Sicherheit von „grünen Materialien" steigt insbesondere auch im Brandschutz. Dazu kommen neue Produkte, die auch die Schutzziele von öffentlichen Gebäuden erreichen, bei vergleichbaren Preisen zu herkömmlichen Produkten.

Die Thermische Bauteilaktivierung ist eine vielversprechende Technologie im Bereich der Kühl- und Heizungstechnik.

TECHNOLOGISCHE TRENDS

Die **Thermische Bauteilaktivierung** (TBA) ist eine sehr vielversprechende Technologie im Bereich der Kühl- und Heizungstechnik. Zur Steigerung der Energieeffizienz wird durch Nutzung der Umgebungswärme oder Abwärme ein wesentlicher Beitrag zur Reduktion des Verbrauchs von Primärenergie geleistet. In Verbindung mit einem modernen Energiestandard des Gebäudes trägt die TBA zu einem hohen Maß an *Behaglichkeit bei gleichzeitiger Einsparung von Betriebs- und Errichtungskosten*[10] klassischer Klimatechnik bei. ExpertenInnenbefragungen haben ergeben, dass in den einschlägigen Aus- und Weiterbildungen die TBA *bisher nur ein Randthema* darstellt. Auf dem Fachbuchsektor existiert eine kleine Zahl durchaus wertvoller Publikationen zu Funktion, Planung und Betrieb von TBA, in Fachzeitschriften gibt es Artikel über spezifisch ausgeführte Projekte. Um diese vielversprechende und nachhaltige Technologie in die breitere Umsetzung zu führen, bedarf es weiterer *Information, Bewusstseinsbildung und fachlicher Schulung*[11].
Die TBA hat im Neubau von Gewerbeimmobilien bereits einen Marktanteil erobert, der nach Einschätzung von ExpertInnen im zweistelligen Prozentbereich liegen dürfte. Im Wohnbau ist sie – abgesehen von Fußbodenheizungen – noch eine Technologie, die derzeit eher im Sinn von Pilotprojekten zu finden ist. *Gerade in diesem Markt liegt für KMU enormes Potential.*[12]
KMU-Zielgruppen für den Bereich der TBA sind:

- Baufirmen / BaumeisterInnen
- InstallateurInnen / HaustechnikerInnen
- Gebäudetechnik-PlanerInnen / ArchitektInnen / ZiviltechnikerInnen

Der Stand der Technik zum Thema, insbesondere die Ergebnisse aus diversen im Jahr 2011 eingereichten bzw. begonnenen Forschungsprojekten (Forschungsinitiative „Nachhaltigkeit Massiv", Leitfaden „Wirksame Speichermasse im modernen, nutzungsflexiblen Bürobau", in weiterer Folge auch Rechenkern und Benutzerhandbuch) sind die Grundlage für die weitere Entwicklung dieser Technologie. Dazu muss jedoch ein *umfassendes Ausbildungsprogramm* geschaffen werden.[13]
Des Weiteren bedarf es einer systemischen Erkundung der Ansprüche der Zielgruppen (Lehrlinge, PolierInnen, BaumeisterInnen/InstallateurmeisterInnen, Lehrende an Bauakademien/InstallateurInnenausbildung, ArchitektInnen):

- Welche Argumentation brauchen BaumeisterInnen/InstallateurmeisterInnen für Kundengespräche? Klärung des Vorwissens der Zielgruppen;
- Klärung üblicher Lösungsstrategien, Erkunden von Vorbehalten bei Planern und Bauherrn bzgl. TBA; Interessenlagen der Branchen;
- geeignete Systeme für Neubau und Sanierung, Passivhaus;
- Bedeutung der Kühlfunktion (Vorteile der niederen Betriebstemperaturen, Nachtlüftung).

Wie bereits erwähnt, wird von ExpertInnen ein umfangreiches Ausbildungsprogramm gefordert, um diese vielversprechende und nachhaltige Technologie in die breitere Umsetzung zu führen.

Die österreichische Zementindustrie plant beispielsweise:

- Projekte zur Errichtung von Simulationsräumen (für praxisnahe Ausbildung) und die Erarbeitung von Lehrunterlagen (Bauakademie/HTL/FH/Uni);
- Durchführung von *Studienreisen mit KMU zu ausgeführten Objekten*;[14]
- Öffentlichkeitsarbeit;
- Veranstaltungen.

Die TBA ist – abgesehen von der Anwendung im Niedrigstenergiegebäude – keine neue Technologie, dennoch ist der *Wissensstand in den*

betroffenen Fachkreisen noch mangelhaft[15]. Gerade aus diesem Grund bietet die TBA zur Energieeffizienzsteigerung von Gebäuden im Wohnbau enorme Chancen und Potenziale für KMU, es braucht dazu aber auch noch politische und gesetzliche Rahmenbedingungen, Standards (Implementierung in Normen, Rechenkern etc.) und Ausbildung, um diese vielversprechende Technologie auf breiter Basis umsetzen zu können. Hier kann die Umsetzung der Europäischen Klimapolitik bzw. der neuen Europäischen Bauproduktenverordnung (Abschnitt 7: Nachhaltigkeit) einen wesentlichen Beitrag liefern.

Der industrielle **Holzbau** und das Zimmererhandwerk, mit all ihren Einsatzmitteln und Materialien sowie Holzwerkstoffen, eröffnen eine Vielfalt von Möglichkeiten. Dementsprechend groß ist der Anstieg der Holzbauten in Österreich[16]. Auch der technische Wandel in der Erzeugung und in den Betrieben trägt maßgeblich dazu bei, den ökologischen Baustoff Holz immer mehr in den Vordergrund zu stellen. Besonders wichtig dabei ist, dass dem Baustoff Holz auch in den Bauordnungen, in den Normen und Bautechnikgesetzen eine Gleichstellung mit anderen Baustoffen zuerkannt wurde. Demzufolge wird aktuell und künftig der Holzbau mit dem Baustoff Holz in Verbindung mit anderen Baustoffen, wie z.B. Glas und Metall *nahezu unbegrenzte Einsatzmöglichkeiten* bieten. Diese Kombinationen bieten neue Brandschutzmöglichkeiten, die sich auch in aktuellen Normen und Richtlinien niederschlagen (z. B. mehrgeschossiger Holzbau in der OIB-Richtlinie).

Holzbausysteme haben Vorzüge sowohl *im Neubau als auch im Sanierungsbereich*, da Holzbauelemente z.B. bei Aufstockungen durch das geringe Gewicht *nur reduzierte statische Maßnahmen* erfordern. Weitere Vorteile hat der Holzbau aufgrund des schnellen Baufortschrittes und der Vermeidung des Eintrags von Baufeuchte. Während der gesamten Produktionskette, welche den Schnitt der Bäume, die Herstellung, Bearbeitung der Produkte (Sägen, Oberflächenbearbeitung, Zusammenbau etc.) sowie den Transport zur Baustelle und die Montage mit einschließt, ist der *Energieaufwand* (die so genannte „graue Energie") *sehr gering.*[17]

Die einfache Vorfertigung von Holzbauteilen, wie sie seit Jahrzehnten praktiziert und mittlerweile aufgrund der langen Erfahrung perfektioniert wurde,

Holz- und Ziegelbauweise eröffnen eine Vielfalt von Möglichkeiten.

stellt ein Charakteristikum der industriellen Holzbauweise dar. Durch die werkmäßige Fertigung in der Halle und die daraus resultierende Unabhängigkeit von Wind und Wetter auf der Baustelle können sehr hohe Genauigkeiten und Qualitäten erzielt werden. Dies stellt einen wesentlichen Vorteil dieser Bauweise dar, welcher aber auch durch entsprechende Werkzeuge wie beispielsweise Durchführung einer Ökobilanz, beziehungsweise im Falle des Holzbaus wohl geeigneter, in Form eines carbon footprints in verständlicher Weise transparent gemacht werden sollte[18]. Dieses, in anderen europäischen Staaten längst übliche und etablierte System zum Nachweis der Klimarelevanz eines Produkts, wird mittelfristig, aufgrund der kaum geringer werdenden Relevanz des Klimawandels, auch in Österreich eingeführt werden müssen[19]. Das Ergebnis einer derartigen Berechnung ist wohl nur eine Zahl mit der entsprechenden Begleitdokumentation für den Auftraggeber. Damit lassen sich mit dem Effekt einer klimarelevanten Verbesserung ökologische Schwächen in der Produktion bzw. im Lebensweg des Produkts aufdecken und gegebenenfalls beheben.

In den letzten Jahren hat sich, besonders im mehrgeschossigen Holzbau, die Massivholzbauweise etabliert. Hier sind vor allem die Brettstapel- und die Brettsperrholzbauweise zu erwähnen. Bei der Brettstapelbauweise werden hochkant dicht an dicht stehende Bretter durch Verleimen, durch Verdübeln mit Holz oder durch Vernageln verbunden. Elemente können bis zu 10 m lang gefertigt werden, wobei die Elementbreite nur durch die Transportmöglichkeit einschränkt ist. Als Brettsperrholz werden kreuzweise miteinander verleimte Bretter bezeichnet, wodurch ein großformatiges, flächig tragendes Massivholzelement entsteht, welches nicht mehr durch eine zusätzliche Holzwerkstoffplatte ausgesteift werden muss. Die Einzelbretter werden der Länge nach durch Keilzinkung kraftschlüssig miteinander verbunden. Erforderliche Ausnehmungen für Leitungen etc. sind einfach einfräsbar und der komplette Bauteil in der Produktion vorkonfektionierbar. Längen bis zu 12 m sind möglich, die Breite wird auch hier in erster Linie durch den Transport limitiert.

Im Bereich der **Ziegelbauweise** werden die aktuellen Entwicklungen durch drei Schwerpunkte geprägt: Kostensenkung bei der Bauwerkserrichtung, Energieeinsparung beim Gebäudebetrieb und durchgängiger Umweltschutz von der Produktion bis zum Recycling. Die Klebetechnik von Planziegeln mittels PU-Schaum ermöglicht durch die hohe Zugfestigkeit der Lagerfuge die werksmäßige Vorfertigung und den Transport von ganzen Wänden. Bei der Herstellung von Ortmauerwerk können durch schnelleren Baufortschritt bei geringerem Personaleinsatz wesentliche Einsparungen erzielt werden. Dazu kommen die längere Bausaison (Verarbeitung bis –5°C) und der insgesamt geringere Materialeinsatz.

Eine neue Technologie ist der Einsatz eines Mörtelvlieses, welches als werksmäßig vorgefertigtes, hochwertiges und lagerfähiges Produkt zwei wesentliche Vorteile aufweist: Mörtelverbrauch und Personaleinsatz werden gegenüber konventioneller Mörtelung reduziert, zugleich sind höhere Maßtoleranzen der Ziegel als bei PU-verklebten Planziegeln zulässig.

Hochporosierte Ziegelscherben und feinstrukturierte Lochbilder reduzieren den Wärmestrom und sorgen für einen optimalen Wärmeschutz. Für energiesparende monolithische Ziegelwände kommen in zunehmendem Maße gefüllte Hochloch-Ziegel zum Einsatz: als Füllmaterial kommen dabei hauptsächlich mineralische Dämmstoffe (Wolle oder Blähmaterial) sowie EPS zum Einsatz.

Der Baustoff Ziegel ist ein nachhaltiges Produkt mit hoher Qualität hinsichtlich Gesundheit und Umwelt. Die ökologischen Maßnahmen konzentrieren sich daher auf eine sinnvolle Wiederverwertung. Ziegel ist ein ökologischer Baustoff, dies beweisen positive Ökobilanzen, d. h. eine ganzheitliche Bewertung aller ökologisch relevanter Faktoren über den gesamten Produkt-Lebenszyklus des Ziegels hinweg: von der Herstellung über die Verarbeitung und den gesamten Lebensweg bis hin zu Recycling und Wiederverwendung. Die größten Stärken des Ziegels sind der ausreichend vorhandene Rohstoff, sehr geringe Emissionen, Langlebigkeit und optimale Verarbeitbarkeit. Mit modernen Produktionstechnologien lässt sich auch ein geringer Energieverbrauch bei der Herstellung erzielen. Die Ziegelbauweise eignet sich zur Errichtung von Niedrigenergie- und Passivhäusern und für andere CO_2-Ausstoß-minimierende Konzepte (z.B. Solar-Aktivhaus), bietet die richtigen Voraussetzungen für ein angenehmes Sommerklima und zur Vermeidung von Kühlenergiebedarf. Niedrige U-Werte gekoppelt mit der hohen Speichermasse des Baustoffes Ziegel bewirken einen geringen Heizwärmebedarf des Hauses in der Heiz- und Übergangssaison.

Für den Bau von Niedrigenergie- und Passivhäusern stehen drei Ziegelwandsysteme zur Verfügung:

- Einschalige (monolithische) Bauweise mit Ziegeln, die spezielle Wärmedämmeigenschaften aufweisen;
- Einschalige Ziegelbauweise mit Zusatzdämmung (entweder Wärmedämmverbundsystem oder gefüllte Ziegel);
- Zweischalige Ziegelbauweise mit einer Dämmschicht zwischen den beiden Ziegelscharen.

Mit diesen drei unterschiedlichen Ziegelwandsystemen lässt sich jede energiesparende Bauweise (Niedrigenergiehaus, Niedrigstenergiehaus, Passivhaus, Plusenergiehaus, Sonnenhaus etc.) errichten. Es werden die Wärmeverluste reduziert und besonders die solaren Gewinne genutzt.[20] Zu den Vorteilen der Ziegelbauweise gehören: Behaglichkeit zu jeder Jahreszeit, angenehme Luftfeuchtigkeit, Wärme- und Schallschutz, Brandschutz, Luft- und Winddichtheit und Flexibilität in der Ausführung. Der Ziegel kann nicht nur als klassischer Wandbaustoff verwendet werden sondern auch für Decken, Keller und Dach eines Gebäudes sowie als Klinker zur Garten- und Fassadengestaltung[21]. Beim Ziegel als natürlichem und nachhaltigem Produkt liegt das Verbesserungspotenzial im Herstellprozess sowie bei den wandbildenden Ergänzungsmaterialien. Ziegel erfüllen bereits die grundlegende Eigenschaft der hohen Widerstandsfähigkeit gegenüber mechanischen, biologischen und chemischen Beanspruchungen. Neue bauphysikalische Anforderungen wie Wärmespeicherung, Luftdichtheit und Wärmebrückenfreiheit sind durch die Ziegelbauweise zusätzlich erreichbar. Zur Absicherung der Marktposition sind systemtechnische Maßnahmen zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und ökologische Maßnahmen beim Herstellprozess und bei der Auswahl der Ergänzungsmaterialien erforderlich.

Die Energiegewinnung mittels **solarthermischer Kollektoren** ist weltweit betrachtet in einer ähnlichen Größenordnung wie die Windenergie und übersteigt die nachfolgenden Technologien Geothermie, Photovoltaik und Gezeitenkraftwerke bei weitem[22]. Der weltweit größte Markt bei installierter solarthermischer Leistung ist China mit ca. 58 %, dabei kommen vorwiegend Vakuumröhrensysteme zum Einsatz. Der europäische Markt deckt etwa 18 % der weltweit installierten Solarthermie ab, und dies fast ausschließlich mit Flachkollektoren. Die europäischen Hauptmärkte sind Deutschland (38 % der neu installierten Flächen 2009), Italien (9 %),

Spanien (9 %), Österreich (8 %) und Frankreich (8 %).

Die wesentlichen Herausforderungen im Bereich der solarthermischen Systeme für die Forschung sind:

- Die Entwicklung von kompakten Wärmespeichern mit hohen Energiedichten;[23]
- Die Entwicklung neuer Materialien (z.B. Polymer- oder Nanowerkstoffe) für Kollektoren und andere Komponenten;
- Grundlagenforschung für Verbesserungen bei solarer Kühlung.[24]

Ausgereifte Flachkollektoren können derzeit Temperaturen bis ca. 120°C zur Verfügung stellen. Eine Anforderung stellt die *Entwicklung von kostengünstigen und zuverlässigen Kollektoren für Mitteltemperatur* dar. Gleichzeitig ist es aber auch notwendig, die industriellen Prozesse auf das Temperaturniveau der Kollektoren abzustimmen. Neben diesen Kollektoren existieren Systeme, bei welchen Solarstrahlung konzentriert auf Kollektoren geleitet wird und dabei Temperaturen bis zu 250°C erreicht werden können. Diese Technologie wird vorwiegend für die Stromproduktion (Erhitzen von Thermoölen, Abarbeiten über Dampfturbinen) eingesetzt.

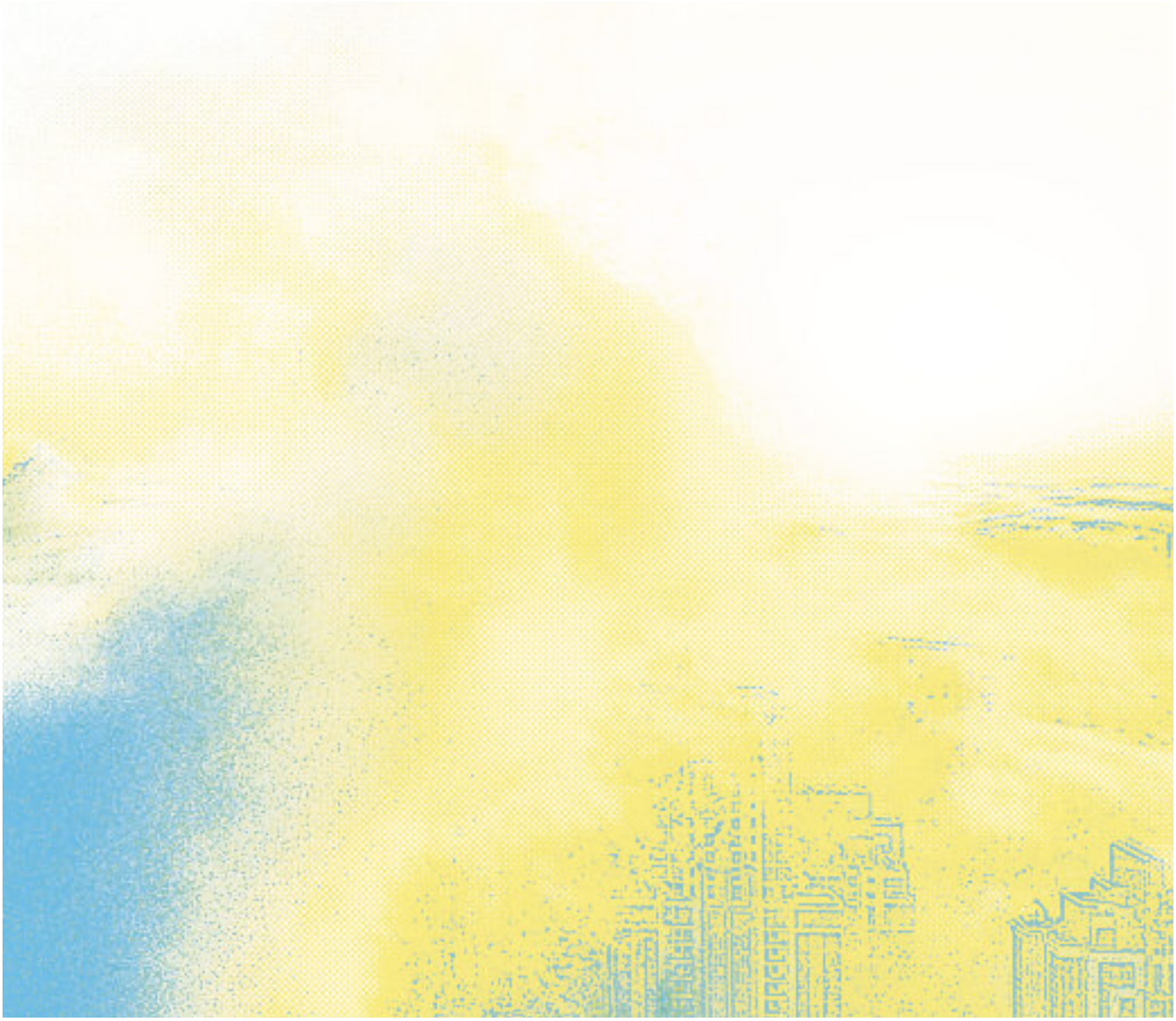
Aktuelle Technologieentwicklungen (verbesserte Systemtechnik), die entsprechende Produkt- bzw. Marktrelevanz haben, umfassen:

- Hybridsysteme in Kombination mit Wärmepumpen und Biomasse;[25]
- Die multifunktionelle Gebäudehülle mit integrierten Kollektoren;
- Innovative Lösungen für die Einbindung von Solarwärme in Mikro-, Nah- und Fernwärmenetze.[26]

Niedertemperatur-Solarthermieanlagen werden bislang fast ausschließlich im Bereich Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung eingesetzt. Die in Österreich im Jahr 2010 neu installierten Kollektoren waren zu 94 % verglaste Flachkollektoren und zu rund 4 % Vakuumröhrenkollektoren; der Rest verteilt sich auf unverglaste Flachkollektoren für die Schwimmbaderwärmung und auf Luftkollektoren. Ein ähnliches Bild ergibt sich in Deutschland, das gerade für österreichische ProduzentInnen ein wesentlicher Absatzmarkt ist. Die Solarbranche geht davon aus, dass die Solarthermie langfristig bei entsprechender technologischer Entwicklung für die meisten Anwendungen die *kostengünstigste und sicherste Wärmequelle* darstellt. Der Solarthermie wird in vielen Studien eine große Steigerungsrate vorausgesagt. Es werden dabei europaweite Zuwachsraten von zumindest 5,5 Mio. m² jährlich bis 2020 prognostiziert.

Die Vision von „smart solar collectors", die durch passiv oder aktiv ausgelöste Anpassung ihrer optischen und/oder thermischen Eigenschaften auf die aktuelle Bedarfs- und Angebotssituation reagieren können, basiert im Wesentlichen auf der Weiterentwicklung von „smart materials", der Miniaturisierung mechanischer und fluidischer Bauteile sowie der zunehmenden Vernetzung technischer Komponenten in Gebäuden. In diesen Technologiebereichen sind im Zeitraum bis 2030 *deutliche Fortschritte* zu erwarten, von denen die Solarbranche profitieren kann. Eine besondere Herausforderung stellen hierbei bewegte Kollektorkomponenten dar, die im Stand der Technik üblicherweise aus Gründen der Langzeitstabilität vermieden werden. Andererseits sind bewegte Bauteile im Bereich des Sonnenschutzes notwendig und üblich, so dass auch hier interessante Kombinationen vorstellbar sind.

Wie dargestellt, wird ein erheblicher Anteil der derzeit installierten thermischen Solaranlagen nur zur Warmwasseraufbereitung genutzt. Im Laufe des letzten Jahrzehnts sind „Kombisysteme", die sowohl Warmwasser als auch



Raumbeheizung zur Verfügung stellen, zum Standardprodukt geworden und haben in Österreich einen beträchtlichen Anteil am gesamten Solarthermiemarkt gewonnen. Voraussetzungen für die vollsolare Wärmeversorgung sind ein sehr guter Wärmedämmstandard des Gebäudes, eine ausreichend große Solarkollektorfläche sowie ein saisonales Wärmespeicherungssystem, um die in den Sommermonaten gewonnene Solarenergie im Winter nutzen zu können. Die **Wärmespeicherung** stellt hierbei eine entscheidende technologische Herausforderung dar, da die weite Verbreitung von „Aktiven Solaren Gebäuden" weitgehend von der Entwicklung rentabler und praktikabler Lösungen für eine Wärmespeicherung abhängt.

Aufgrund der begrenzt zur Verfügung stehenden Dachfläche für Solarsysteme werden Entwicklungen bei Fassadenkollektoren und dachübergreifenden Systemen benötigt, um die nutzbare Oberfläche zur Sammlung erneuerbarer (thermischer) Energie zu erhöhen. Um die begrenzte Fläche der Gebäudehülle optimal nutzen zu können, müssen strukturelle Anforderungen an Gebäudekomponenten mit solaren Funktionen oder Wärmespeicherung sowie dünnen, hocheffizienten Lagen aus Dämmstoff kombiniert werden. Die weitergehende Standardisierung wird einen modularen Aufbau ermöglichen und zur Entwicklung modularer (Ersatz-) Elemente führen, die ein komplementäres Set multifunktionaler Komponenten und Schnittstellen ergeben.

Entwicklungen bei Fassadenkollektoren und dachübergreifenden Systemen sind gefragt – aufgrund der begrenzt zur Verfügung stehenden Dachfläche.

Schwerpunkte der aktuellen angewandten Forschung sind:[27]

- Integrale Speicher, Wärmeverteil- und Wärmeabgabesysteme, welche in die Konstruktion integriert sind;
- Fassadenkollektoren, die sowohl als (solare) Wärmequellen und Wärmesenken, als auch zur Reduzierung der Wärmeverluste genutzt werden;
- Dachelemente, die identisch aussehen aber unterschiedliche Funktionen haben wie zum Beispiel den Schutz vor Witterung oder die Funktion als Fenster, solare Wasser- oder Luftkollektoren, PV-Module oder Energiespeicher;
- „Unsichtbare Kollektoren", wie spezielle Typen von Fassadenkollektoren oder dachintegrierten Kollektoren, welche die Materialien nachahmen, die in alten Gebäuden genutzt werden und
- Fenster mit sich selbst an die Intensität der solaren Bestrahlungsstärke anpassender Transmission.

Für neue Speichertechniken sind umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten notwendig. Durch die Entwicklung neuer Speichermaterialien auf der Basis von Phasenwechsel- und Sorptionsmaterialien sind prinzipiell völlig neue Ansätze zur Wärmespeicherung mit geringen Speicherverlusten möglich, die höhere Energiedichten erlauben und den Einsatz dezentraler Wärmeversorgungssysteme unterstützen. Dabei macht der reduzierte Energieverbrauch in modernen Gebäuden derartige neue Ansätze aus systemtechnischer Sicht besonders aussichtsreich. Darüber hinaus eröffnen sich durch neue Speichermaterialien auch *neue Einsatzmöglichkeiten im Bereich hoher Temperaturen für die solarthermische Kraftwerkstechnik und für die bessere Nutzung industrieller Prozesswärme*. Dabei werden z. B. granulare Festkörper in einen Reaktionsraum geführt und die gespeicherte oder frei werdende Wärme abtransportiert[28]. Diese neuen Speicherkonzepte weisen aktuell einen sehr hohen Forschungsbedarf und apparativen Entwicklungsbedarf auf. Interessant sind in diesem Zusammenhang auch Speicher für kleine Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlagen, da mit diesen Komponenten ein optimierter stromgeführter Betrieb möglich ist und die anfallende Wärme bis zu einigen Tagen gespeichert werden kann. Bei solarthermischen Kraftwerken können die Verfügbarkeit und die Stromgestehungskosten durch Installation von Wärmespeichern deutlich verbessert werden.

Fast 20 % des europäischen Endenergieverbrauchs werden für **industrielle Prozesswärme** aufgewendet. Weltweit wurden im industriellen Sektor erst wenige Solaranlagen errichtet, so dass bisher nur unzureichende Erfahrungen bezüglich Planung, Systemeinbindung, Realisierung und Betrieb solarthermischer Prozesswärmeanlagen vorliegen. Da sich die Anwendungen stark unterscheiden, ist der Planungsaufwand relativ aufwändig und teuer. Die technologischen Ansätze bei Prozesswärmekollektoren können zwischen Optimierung des optischen Konzentrationsfaktors oder der Nachführungsmethode unterteilt werden. Optische Konzentration ist eine Möglichkeit, höhere Arbeitstemperaturen zu erreichen, wobei das Verhältnis von Absorberfläche zu Aperturfläche (Strahlungseintrittsfläche in den Kollektor) verkleinert wird. Der Nachteil der Konzentration ist die Verminderung der einstrahlwinkelabhängigen Strahlungsakzeptanz des Kollektors. Daher muss der Kollektor der Sonne nachgeführt werden. Die Nachführung kann bei geringen Konzentrationsfaktoren typischerweise saisonal realisiert werden, bei höherer Konzentration sind kürzere Nachführintervalle notwendig. Die Nachführung bedingt zusätzliche mechanische Konstruktionselemente und bewegte Teile, die zusätzliche Kosten und Wartungsaufwand verursachen.

Raumkühlung und Klimatisierung gewinnen hinsichtlich des Energieverbrauchs von Gebäuden weltweit an Bedeutung.

Um höhere Prozesstemperaturen (150 bis 250°C) zu erreichen, sind Parabolrinnenkollektoren oder Fresnelkollektoren erforderlich, welche hohe Konzentrationsraten aufweisen und daher auch der Sonne nachgeführt werden müssen. Zur Erzielung hoher Kollektorwirkungsgrade im mittleren Temperaturbereich spielt die Minimierung der optischen und thermischen Verluste des Kollektors eine entscheidende Rolle. Voraussetzung dafür ist die exakte Kenntnis der optischen und thermischen Effekte im Kollektor. Eine genaue Quantifizierung kann durch Anwendung weiterentwickelter Messverfahren in enger Verbindung mit numerischen Simulationen (z.B. Computational Fluid Dynamics) erreicht werden. Die Weiterentwicklung und Anwendung solcher Verfahren ist eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung und Optimierung leistungsfähiger Mitteltemperaturkollektoren. Für Prozesswärmekollektoren ist die Materialforschung entscheidend. Die Langlebigkeit der Komponenten bei immer höheren Temperaturen muss verbessert werden und für die Produktion der Konzentratoroptik werden bessere Materialien benötigt. Diese Entwicklungen bedürfen einer begleitenden Verbesserung sowohl hinsichtlich Produktionstechniken, Systemtests, Zertifizierung und Installation.

Unter Berücksichtigung des jetzigen Entwicklungsstandes der thermischen Solartechnik muss das tatsächliche nutz- und realisierbare Potential der solarthermischen Prozesswärmeerzeugung in aussichtsreichen Anwendungen und Industriebranchen detailliert analysiert werden. Aus Sicht der Solartechnik wären die vier Temperaturbereiche bis 80°C, bis 130°C, bis 170°C und bis 250°C von Interesse und getrennt auszuwerten. Aufbauend auf den ersten Resultaten aus der überwiegend internationalen Zusammenarbeit im Rahmen des IEA-SHC-Tasks 33/IV sowie EU-Projekten besteht die Notwendigkeit, Planungshilfsmittel (Leitfäden und Tools) sowie Branchenkonzepte zur Einbindung solarthermischer Anlagen in industrielle Prozesse zu entwickeln. Im Einzelnen sind folgende Maßnahmen erforderlich:

- Prozessanalysen: Ermittlung von Temperaturniveaus, Leistungen und Energiebedarfs-Profile;
- Energieeffizienzstudien: Dämmung, Wärmerückgewinnung, Optimierung der Wärmeverteilnetze, Prozessführung etc.;
- Entwicklung geeigneter Kollektoren und anderer Systemkomponenten für solare Systemtemperaturen im Bereich von ca. 90 bis 250°C;
- Identifizierung geeigneter Prozessschritte zur Einbindung thermischer Solaranlagen und Entwicklung standardisierter Schnittstellen;
- Erarbeitung geeigneter Strategien und Hydrauliken zur Systemeinbindung thermischer Solaranlagen in Niedertemperaturprozesse sowie für Warmwasser-, Heißwasser- und Dampfnetze für Mittel- und Hochtemperaturanwendungen;
- Entwicklung von branchen- bzw. prozessspezifischen Auslegungs- und Regelungsstrategien von Solaranlagen und
- Kategorisierung von Solaranlagenvarianten zur Einbindung in (kategorisierte) Niedertemperaturprozesse sowie in Warmwasser-, Heißwasser- und Dampfnetze.

Die Raumkühlung und Klimatisierung gewinnen hinsichtlich des Energieverbrauchs von Gebäuden weltweit an Bedeutung. Auch für Österreich prognostiziert eine aktuelle Studie einen *dramatischen Anstieg an Energiebedarf* zur Gebäudekühlung. Um Kühlprozesse auch mit thermischer Energie anzutreiben, existieren derzeit drei Technologien am Markt:

- Absorptionskälteanlagen: Mittels einer flüssigen Lösung aus Kältemittel und Sorptionsmittel und einer Wärmequelle wird eine thermisch angetriebene Verdichtung des Kältemittels erreicht und somit ein elektrisch ange-

triebener Verdichter ersetzt. Diese Technologie ist im Leistungsbereich >100 kW weit verbreitet.

- Adsorptionskälteanlagen: nutzen feste Sorptionsmaterialien anstelle flüssiger Lösungen. Die Technologie zeichnet sich durch Einfachheit und Robustheit aus.
- DEC-Anlagen (Desiccant Evaporative Cooling): offene Systeme, die mit Wasser als Kältemittel in direktem Kontakt mit der Zuluft arbeiten. Es werden derzeit Systeme mit festen Sorptionsmitteln zur Trocknung der Luft eingesetzt. Die nachträgliche Befeuchtung bewirkt die erforderliche Luftkühlung. Systeme mit flüssigen Sorptionsmitteln zur Zwischenspeicherung sind in Entwicklung.

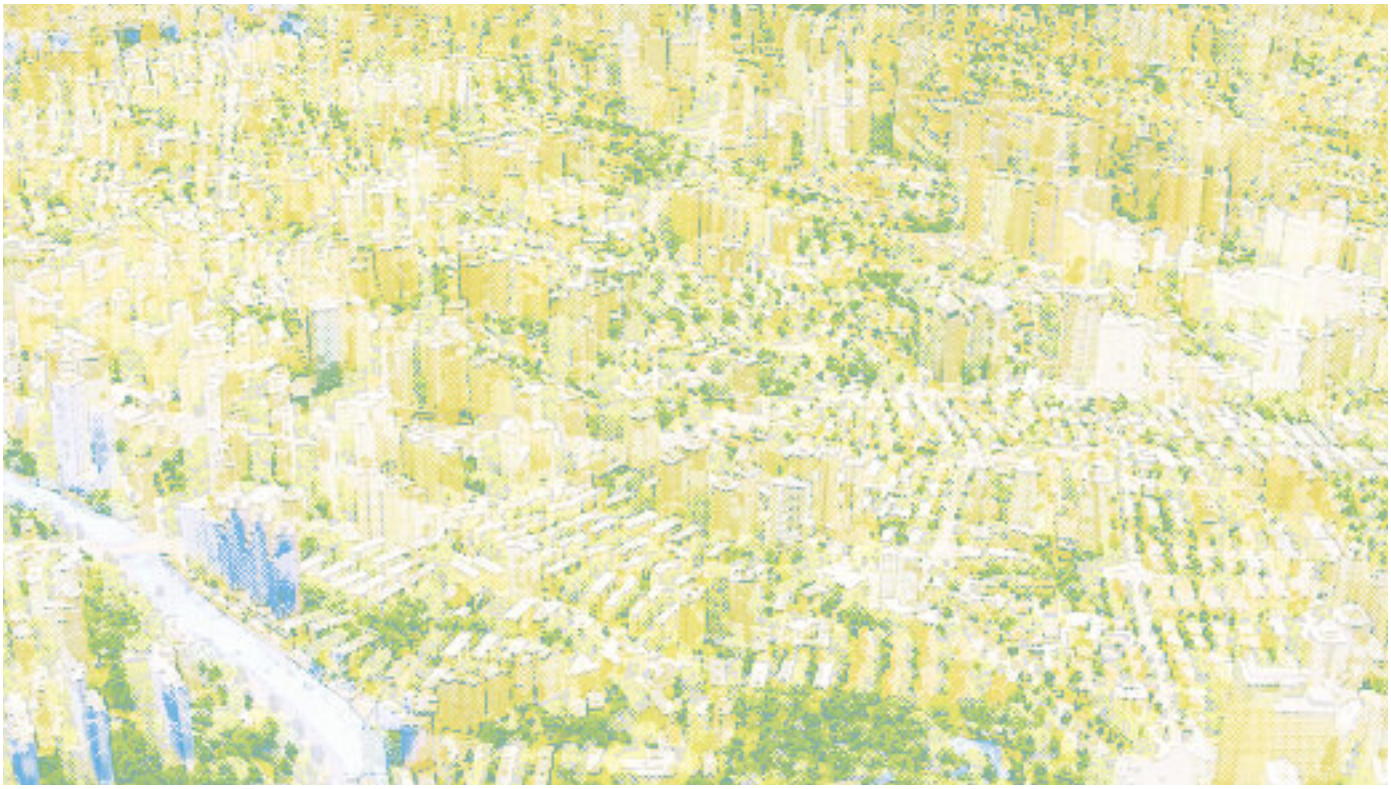
Im Rahmen unterschiedlicher Projekte wird derzeit ein Monitoring einer ganzen Reihe von Anlagen zum solarthermischen Heizen und Kühlen durchgeführt[29]. Im Gegensatz zu früheren Monitorings, bei welchen der Schwerpunkt eher auf den Leistungszahlen der eingesetzten Kältemaschinen lag, wurde und wird hier besonders viel Wert auf die Messung des Stromverbrauchs aller eingesetzten Komponenten der Anlagen gelegt. Die bisher vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass der Stromverbrauch einiger Komponenten wie z. B. die eingesetzten Pumpen und Ventilatoren zu hoch ist und die *Primärenergiebilanz des gesamten Systems dadurch im Extremfall sogar negativ gegenüber dem Verbrauch herkömmlicher Kompressionskälteanlagen ausfallen kann*. Auch die Anlagenkonfiguration (Kollektortyp, -größe, Speicheranordnung, Hydraulikkonzept etc.) kann einen großen Einfluss auf den Primärenergieverbrauch des Systems haben. Die Regelungsstrategie einer Anlage, die z.B. im Teillastbetrieb Pumpen und Ventilatoren drehzahlregelt und einen optimalen Betrieb der Kältemaschine gewährleistet, kann auch wesentlich zur Reduktion des Primärenergieverbrauchs beitragen[30].

Für DEC-Anlagen sind das Sorptionsrad und das Wärmerückgewinnungsrad die maßgeblichen Komponenten zur Erhöhung der Energieeffizienz. Hinsichtlich der Entwicklung einer effizienten und hygienisch unproblematischen Rückkühleinheit wird die Methode der Bakterienbekämpfung mit ultravioletter Strahlung bei einer Wellenlänge von 254 nm und die Metall-Ionen Desinfektion vorangetrieben.

Der Einsatz von thermischen Kältemaschinen im industriellen Bereich z. B. mit Abwärme hat das Potential, die *Verkaufszahlen von thermischen Kältemaschinen deutlich zu steigern*, was in weiterer Folge zu einer Kostenreduktion in der Produktion führen wird. Dies würde dann wiederum der solarthermischen Kühlung zugutekommen, die derzeit noch eine sehr kostenintensive Technologie darstellt.

LEBENSZYKLUSKOSTEN

Die Bedeutung der Ermittlung von Lebenszykluskosten für KMU der österreichischen Bau- und Immobilienwirtschaft ist als *überaus hoch* einzuschätzen. Neben der Analyse der Investitionskosten sind die Bewirtschaftungskosten für eine Gesamtbeurteilung von Immobilien bzw. Bauwerken von entscheidender Bedeutung. Im Sinne des Lebenszyklus von Immobilien, welcher aus einer Errichtungs- und im Anschluss daran einer Nutzungsphase besteht, können erst dadurch umfassende Aussagen getroffen werden. Diese Sichtweise entspricht dem „Total Cost of Ownership"-Ansatz (TCO), welcher neben den Investitionskosten eben insbesondere die Bewirtschaftungskosten umfasst. Diese Gesamtkosten geben darüber Auskunft, welche Kosten der Eigentümer als auch der Nutzer über die gesamte Nutzungsdauer zu bezahlen hat. Bemerkenswert



ist der Umstand, dass der *Anteil der Bewirtschaftungskosten an den Gesamtkosten rund 70 bis 80 %* ausmacht. Darüber hinausgehend ist der Umstand von Bedeutung, dass mit Investitionen zu Beginn die Bewirtschaftungskosten nachhaltig gesenkt werden können. Diese Vorgehensweise lässt unter der Annahme einer Nutzungsdauer von Bauwerken über einen Zeitraum von 50 und mehr Jahren substantielle Beträge einsparen. Leider ist jedoch auch der gegenteilige Effekt beim Sparen am falschen Platz oder zur falschen Zeit in der Errichtungsphase zu beobachten.

Der Produktlebenszyklus ist ein Konzept, das den Entwicklungsprozess eines Produkts (bzw. einer Dienstleistung) von der Markteinführung bis zur Einstellung der Produktion (bis zur Einstellung entsprechend langfristiger Serviceleistungen auch über die Verfügbarkeit am Markt hinaus) beschreibt. Die einzelnen Phasen des Produktlebenszyklus werden in der Literatur unterschiedlich fein heruntergebrochen:

- Einführungsphase;
- Wachstumsphase;
- Reifephase;
- Sättigungsphase;
- Degenerationsphase (ggfs. wird auch noch von einer Nachlaufphase gesprochen).

Im Baubereich werden im Rahmen von Lebenszyklusbetrachtungen neben den reinen Kosten der Errichtung eines Gebäudes auch alle anderen Kosten, die während der Nutzungsphase anfallen, erfasst. Für Bauwerke bedeutet dies, dass alle der folgenden Kosten berücksichtigt werden:

- Planungskosten;
- Baukosten;
- Betreibungskosten (z. B. Energiekosten, Versicherungskosten);
- Instandhaltungs- und Wartungskosten (Abnutzung oder elementare Schäden);
- Kosten aus späteren Nutzungsänderungen;
- Entsorgungs- (Abbruchs-)kosten.

Dies hat vor allem Auswirkungen auf die Betrachtung und Beurteilung der Wirtschaftlichkeit entsprechender Investitionen. *So können relativ niedrige Baukosten durch relativ hohe Betriebskosten ausgeglichen werden und umgekehrt.* Des Weiteren wird im Zusammenhang mit Nachhaltigkeit der Fokus zunehmend darauf gelegt, die Entsorgung (den Abbruch) bereits in der Planungsphase einzukalkulieren und auf Umweltgesichtspunkte hin zu optimieren.

Normen und Richtlinien der LCC bei Gebäuden:

- DIN 276 Kosten im Bauwesen – Teil 1 Hochbau;
- DIN 18960 Nutzungskosten im Hochbau;
- DIN 32736 Gebäudemanagement;

Die Bedeutung der Lebenszykluskosten im Straßenbau nimmt zu. Die Verfügbarkeit der Infrastruktur hat bei den Betreibern höchste Priorität.

- GEFMA 200 (German Facility Management) Kosten im Facility Management;
- GEFMA 220 Lebenszykluskostenrechnung im Facility Management;
- ÖNORM 1801.

TECHNOLOGISCHE TRENDS

Die Verfügbarkeit der vorhandenen **Verkehrsinfrastruktur** beeinflusst maßgeblich die technologischen Entwicklungen nicht nur im Neubau, sondern auch bei Instandsetzung und Instandhaltung. Einige Beispiele für Entwicklungen der letzten Jahre im Bereich neue Werkstoffe/Materialien/Rohstoffe, welche auch weiterhin maßgeblich die Wettbewerbsfähigkeit der KMU mitbestimmen werden, sind:

- Schadstoffreinigung mit photokatalytisch aktivierten Oberflächen;[31]
- Recycling und Schonung natürlicher Ressourcen;
- erhöht brandbeständige Betone für Verkehrsinfrastruktur;
- selbstverdichtender Beton mit erhöhter Brandbeständigkeit und Helligkeit;[32]
- 2-Stunden-Beton zur Schnellreparatur von Fahrbahndecken.

Neue Verfahren, die in diesem Zusammenhang zum Einsatz kommen und deren Anwendung für KMU aktuell und zukünftig zu einem wesentlichen Element ihrer Konkurrenzfähigkeit gehören, sind u.a.:

- Herstellung neuer Zemente mit geringerem CO_2-Anfall bei der Herstellung;[33]
- Helle Oberflächen gegen städtisches Aufheizen/Erhöhung der Sicherheit im Tunnel und Energieeinsparung (Kühlenergie/Beleuchtung);[34]
- Oberflächenoptimierung zur Reduktion von Treibstoff- und Energieverbrauch, aber auch zur Erhöhung der Straßensicherheit;[35]
- Vorgespannte Betonbrücken ohne Abdichtung;[36]
- QS im Betonstraßenbau (Optimierung Lärm/Ebenheit/Helligkeit etc.);[37]
- Keilspaltverfahren zur Beurteilung des Materialverbundes.

Expertenbefragungen im Bereich Lebenszykluskosten von Straße/Brücke/Tunnel betonen die zukünftige Bedeutung der Lebenszykluskostenanalyse (Life Cycle Cost Analysis/LCCA) unter Einbeziehung der Betriebs- und Nutzungsphase und der sozialen Aspekte (Verfügbarkeit, Straßensicherheit, Nutzerkomfort etc.). Die Verfügbarkeit der Infrastruktur hat bei den Betreibern höchste Priorität. Viele technologische Entwicklungen der letzten Jahre sind vielversprechend. Bei deren Umsetzung in die Praxis und technologischen Weiterentwicklung gibt es enormes Potenzial für KMU, nicht nur im Bereich neuer Werkstoffe/Materialien/Rohstoffe, sondern auch bei neuen Verfahren und Prozessoptimierungen. Spezialisierungen in diesen Nischenbereichen können KMU interessante Zukunftsperspektiven eröffnen. Bei der Errichtung von Gebäuden werden in der Praxis meist die Anschaffungs- und Baukosten stark berücksichtigt, nicht aber die Folgekosten, d.h. es werden nicht unbedingt Bauweisen bevorzugt, die auf lange Sicht minimale Kosten verursachen.

Bei Heizkesseln und Raumheizgeräten, wie z. B. dem **Kachelofen,** wurde bislang hauptsächlich darauf geachtet, die Anschaffungskosten möglichst gering zu halten. Künftig werden die Lebensdauer der Heizanlage, der Amortisierungszeitraum, und die Entwicklung der Heiz- und Energiekosten (Öl, Gas, Holz etc.) zunehmend eine Rolle bei der Kaufentscheidung spielen. Kachelöfen übertreffen mit einer Mindestlebensdauer von 30 Jahren vergleichbare Produkte zumindest *um den Faktor 2*. Die dadurch seltener erforderliche Erneuerung bzw. Entsorgung, verbunden mit der Verwendung des von nur geringeren Preissteigerungen betroffenen erneuerbaren

Brennstoffs Holz, lassen bei einer verstärkten Berücksichtigung der Lebenszykluskosten Vorteile gegenüber anderen Heizsystemen, z. B. mit fossilen Brennstoffen, erwarten. Außerdem fördert eine ausreichende Betrachtung der Lebenszykluskosten die Verwendung hoch qualitativer (österreichischer) Materialen und deren Hersteller – in der Regel KMU – wogegen bei ausschließlich kurzfristiger Betrachtung der Investitionskosten ein Anstieg der Verwendung weniger qualitativer, kostengünstigerer Materialien zu erwarten ist. Eine ähnliche Argumentation gilt auch für die österreichischen Hafnerbetriebe – allesamt gewerbliche KMU. Auch sie würden von einer Lebenszykluskostenbetrachtung gegenüber ausländischen Billiganbietern profitieren. Seitens des Kachelofenverbandes werden gegenwärtig Grundlagendaten zu den Lebenszykluskosten unterschiedlicher Heizsysteme zusammengestellt und statistisch aufbereitet. Diese Informationen stehen dann den österreichischen Hafner-Fachbetrieben zur Verfügung: es gilt, das Bewusstsein der Konsumenten dafür zu schärfen, wie vorteilhaft sich die Lebenszykluskosten eines Kachelofens im Vergleich mit anderen Systemen darstellen. In der öffentlichen Diskussion der Energie- und Klimaproblematik ist bereits ein Umdenken erkennbar.

Bei den **solarthermischen Systemen** werden Ökobilanzen der Kollektoren auf der Basis von Herstellerangaben untersucht und mit einem hydraulischen System[38] ergänzt. Berücksichtigung finden dabei auch die über den Lebenszyklus anfallenden Aufwendungen für Betrieb und Wartung, Recyclingpotentiale und Gutschriften für zum Beispiel substituierte Dacheindeckungen. Für die Bilanzierung wird der zur Herstellung der Anlage verwendete Primärenergieinhalt den erwarteten Erträgen und Gutschriften aus Recycling gegenübergestellt. Die energetische Amortisationszeit liegt für Flachbettkollektoren im Schnitt bei 1,97 Jahren, jene für Vakuumröhrenkollektoren bei 1,25 Jahren. Bei Photovoltaik-Anlagen wird der über den Lebenszyklus erbrachte Ertrag und die für die Herstellung erbrachten Aufwendungen auf eine Lebensdauer von 30 Jahren ermittelt. Die Ertragsrechnung spiegelt im Wesentlichen die Unterschiede der Wirkungsgrade der Zellentypen wieder. Monokristalline Zellen liegen bei den Wirkungsgraden wie auch bei den erwarteten Jahreserträgen am höchsten, amorphe Zellen am niedrigsten und multikristalline Zellen dazwischen. Die energetische Amortisation aller Zellen liegt im Durchschnitt bei ca. 3,3 Jahren.

Die Verwendung von umweltresistenten Materialien und Befestigungstechniken wird zukünftig nicht nur ein Kriterium bei qualitätsbewussten Käufern, sondern auch Vorgabe durch Versicherungen zur Minimierung der Schadensmenge und Häufigkeit[39,40] sein. Steigende Schäden und unkalkulierbare Risiken sorgen für einen Umdenkprozess der Versicherungswirtschaft, der sich in absehbarer Zeit direkt auf die Verwendung von resistenten Materialien auswirken wird. Der Einsatz von Carbonfasern nimmt bereits jetzt in vielen Anwendungsbereichen des nachhaltigen Bauens zu. Besonders in der nachträglichen thermischen Sanierung, die durch den steigenden Bedarf der Altbausanierung zunimmt, zeichnet sich eine langfristige Kosteneinsparung durch Qualitätseinbauten ab. Carbon-Verbundstoffe weisen eine hohe Festigkeit und Steifigkeit bei gleichzeitig geringer Dichte auf. Durch den Einbau von Carbonteilen in Fassadendämmungen wird eine verbesserte Resistenz bei Hagel- oder Sturmereignissen erzielt.

Im Bereich der Dacheindeckungen werden vermehrt „neue" Materialien, wie Stahl, Aluminium oder sonstige Metalle und Legierungen auf Grund ihrer positiven Eigenschaften (Gewicht, Witterungsbeständigkeit etc.) einge-

Steigende Schäden und unkalkulierbare Risiken sorgen für einen Umdenkprozess der Versicherungswirtschaft.

setzt. Dies ermöglicht metallverarbeitenden KMU in einen neuen Markt einzutreten, der jedoch rein auf Verdrängung basiert. Durch die zunehmende Verwendung von „neuen" Materialien und Verbundstoffen sind auch die Verarbeitungsmethoden einem Wandel unterworfen. So werden Klebe- und Schweißtechniken gegenüber Schraubtechniken immer mehr bevorzugt, auch weil sie in vielen Fällen die Langlebigkeit eines Produktes fördern. Als Beispiel sei hier das Hybridfügen erwähnt: durch die Verknüpfung von zwei oder mehreren Fügetechniken können die jeweiligen Vorteile der einzelnen Techniken gezielt genutzt werden.

Diese neuen Verarbeitungstechniken tragen dazu bei, dass Dacheindeckungen oder Fassadenkonstruktionen in Bezug auf Extremereignisse, wie Hagel oder Sturm, widerstandfähiger sind. Wichtig in diesem Zusammenhang sind jedoch korrekte Handhabung und Aufbringung, die nur auf Grund guter Schulung und Ausbildung möglich sind. Die Verwendung von resistenteren Materialien und Techniken führt zu einer Senkung der Instandhaltungs- und Wartungskosten. Auch wird der Einbau von widerstandsfähigen Materialien in Zukunft zu einer Einsparung bei den Betriebskosten führen, indem beispielsweise eine geringere Prämie für eine Sturm- und Hagelversicherung erreicht werden kann.

Koordination:
Mag. Andreas Oberhuber (FGW)

AutorInnen:
DI Harald Dehner, DI Hilbert Focke,
Dr. Gerald Steinmaurer,
Dr. Bernhard Zettl (ASiC)
DI (FH) Isabella Hofer,
DI Harald Mayr (BTI)
Mag. Andreas Oberhuber (FGW)
Miriam Leibetseder, DI Bernhard
Schmiedinger, DI Hans Starl (IBS)
DI Dr. Franz Dolezal (HFA)
Peter Krauthaufer, MSc,
DI Dr. Thomas Schiffert (VFH)
DI Sebastian Spaun,
Dr. Johannes Steigenberger (VÖZFI)

LITERATUR

1 Schneider Jürgen, Klimaschutzbericht 2009, Herausgegeben von Umweltbundesamt, Wien.
2 König Holger, Kohler Nikolaus, Krießig Johannes, Lützkendorf Thomas, Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung. Grundlagen, Berechnung, Planungswerkzeuge, Institut für internationale Architekturdokumentation, Redaktion DETAIL. 2009. Dolezal Franz, Gebäudezertifizierung und nachhaltiges Bauen. Ökostandards in Österreich. In: Zuschnitt Attachment – Sonderthemen im Bereich Holz, Holzwerkstoffe und Holzbau. proHolz Austria. Wien 2010.
3 Böhm, D. Ft.: Harte und weiche Fakten zum Klimawandel- ein Überblick. In: Auswirkungen des Klimawandels auf die Österreichische Wasserwirtschaft (2008), S. 53-70.
4 Starl, H. Naturkatastrophen (2010).
5 ZAMG: Hagelschadensereignisse Sachschäden. In: Hagelschadensereignisse (2007), S. 2 Seite 52.
6 Mösele Peter, Bauer Michael, Hoinka Thomas (2009): Green Building Label - Die wichtigsten Zertifizierungssysteme auf dem Prüfstand. In: greenbuilding - Nachhaltig planen, bauen und betreiben, H. 01-02, S. 50–55.
7 Dolezal Franz, Gebäudezertifizierung und nachhaltiges Bauen. Ökostandards in Österreich. In: Zuschnitt Attachment – Sonderthemen im Bereich Holz, Holzwerkstoffe und Holzbau. proHolz Austria. Wien 2010.
8 Egli D. T., Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren. Vereinigung Kantonaler Gebäudeversicherungen, 2007.
9 Egli D. T., ENGINEERING, E. (Hrsg.): Schweizerisches Hagelschutzregister. Vereinigung Kantonaler Gebäudeversicherungen http://www.hagelregister.ch/D/ESR_default_d.asp.
10 Energiespeicher Beton, Klimawandel fordert Baukonzepte, Zement+Beton Handels- u. WerbegmbH, Wien (2010). Energiespeicher Beton, Innovationspreis 2010, Die besten Bauwerke mit thermi-

scher Bauteilaktivierung, Zement+Beton Handels- u. WerbegmbH, Wien (2010).
11 s. Endnote 10
12 Siehe Website: http://www.zement.at/index.php/beton/heizen–kuehlen-mit-beton
13 s. Endnote 12
14 s. Endnote 10
15 s. Endnote 10
16 Teischinger Alfred, Holzbauanteil in Österreich. In: Zuschnitt Attachment – Sonderthemen im Bereich Holz, Holzwerkstoffe und Holzbau. proHolz Austria. Wien 2011.
17 Wolpensinger Holger (31.8.2009), Der Baustoff Holz aus ökobilanzieller Sicht. Veranstaltung vom 31.8.2009. 3. Internationale Sommerakademie Nachhaltiges Bauen. ETH Zürich.
18 Wegener G., Zimmer B. (1999), Ökobilanzen Holz. Fakten lesen, verstehen und Handeln. Informationsdienst Holz. Hg.: Holzabsatzfonds und DGfH, Bonn und München.
19 Wittstock Bastian, Albrecht Stefan, Colodel Cecilia Makishi, Lindner Jan Paul (2009), Gebäude aus Lebenszyklusperspektive – Ökobilanzen im Bauwesen. In: Ernst und Sohn (Hg.): Bauphysik 31 (2009). Berlin: Ernst und Sohn (31), S. 9–17.
20 Koch G., Das Energieeffiziente Ziegelhaus der Zukunft, http://www.ziegel.at/download/e4_voez.pdf
21 Prommer N., Innenraumluftqualität, http://www.ziegel.at/download/Innenraumluft_end.pdf
22 Forschungsagenda Solarthermie W.Weiss et. al. BMVIT Bericht 14/2010 aus Nachhaltig Wirtschaften
23 Projekt „Austrian Masterplan Thermal Energy Storage", gefördert vom Klima- und Energiefonds im Rahmen der Ausschreibung „Neue Energien 2020".
24 Projekte „Solar Cooling Opt" und „Solar Cooling Monitor", gefördert von Klima- und Energiefonds im Rahmen der Ausschreibung „Neue Energien 2020" bzw. „Haus der Zukunft+".
25 Projekt „NE-EE: Monolith – Kombisystem von Hybridkollektor und Luftwärmepumpe mit effizienter Anlagentechnik und innovativen Regelstrategien", gefördert von vom Klima- und Energiefonds im Rahmen der Ausschreibung „Neue Energien 2020".
26 Projekt „SolHeat.Net – Lastmanagement für solarthermische Fernwärmeunterstützung am Beispiel Wels", gefördert von der FFG, im Rahmen der Ausschreibung „Energie der Zukunft".
27 s. Endnote 23
28 Projekt „Flow-TCS: Verlustfreie Solarspeicher mittels thermochemischer Granular-Flow-Materialien", gefördert von vom Klima- und Energiefonds im Rahmen der Ausschreibung „Neue Energien 2020".
29 Projekt „Solar Cooling Monitor", gefördert vom Klima- und Energiefonds im Rahmen der Ausschreibung „Haus der Zukunft +".
30 Projekt „Solar Cooling Opt", gefördert vom Klima- und Energiefonds im Rahmen der Ausschreibung „Neue Energien 2020.
31 Krispel St., Peyerl M., Schadstoffreduktion durch Betonflächen – Neueste Entwicklungen; Betonfahrbahndecken 2009 – Kongress 11./12. November 2009 Bratislava, Slowakische Republik, S. 53–66.
32 Krispel St., Peyerl M., Selbstverdichtender Beton mit erhöhter Brandbeständigkeit und Helligkeit, BMVIT Straßenforschung Heft 598, 2011, S. 145.
33 Krispel St., Nischer P., Peyerl M., Macht J., Ein neuer Zement als Win-win-Situation sowohl für Zement- und Betonhersteller als auch für Konsumenten und Umwelt, Zement und Beton 5/2011, S 34 -36. Steigenberger J., Zement mit geringem CO_2-Anfall bei der Herstellung, ACR Jahresbericht 2009, Ausgabe Mai 2010, Seite 56–57.
34 Krispel St., Peyerl M., Erwärmung städtischer Straßennetze bei sommerlichen Hitzewellen, VÖZ-Broschüre 1/2011, S. 14, Innovation & Nachhaltigkeit im Betonstraßenbau, Publikation anlässlich der Festveranstaltung zum 75. Geburtstag von BR h.c. Prof. DI Dr. techn. Hermann Sommer.
35 Concrete pavements contribute to decarbonising of transport, EUPAVE; Brüssel 2011. Milachowski Ch., Stengel Th., Gehlen Ch., Life cycle assessment for road construction and use, 11th International Symposium on concrete Roads, Sevilla, 13.–15. Oktober 2010.
36 Peyerl M., Vorgespannte Betonbrücken ohne Abdichtung und Fahrbahnbelag, BMVIT Straßenforschung Heft 599, 2011, 104 Seiten.
37 Steiner M., Modernes QS – Manangement – Unabdingbare Voraussetzung für eine nachhaltige Betondeckenbauweise, Innovation & Nachhaltigkeit im Betonstraßenbau, Publikation anlässlich der Festveranstaltung zum 75. Geburtstag von BR h. c. DI Dr. techn. Hermann Sommer, Februar 2011, Wien, Seite 11.
38 ÖNORM ENV 12977-2:2001 – Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile – Kundenspezifisch gefertigte Anlagen – Teil 2: Prüfverfahren
39 IPCC 2007: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC), Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor und H.L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom und New York, NY, USA. Deutsche Übersetzung durch ProClim-, österreichisches Umweltbundesamt, deutsche IPCC-Koordinationsstelle, Bern/Wien/Berlin, 2007.
40 RE, S.: Naturgefahrenschäden Österreich. – OÖV.

2

UMWELTTECHNIK UND ERNEUERBARE ENERGIEN

Preissteigerungen im Energiemarkt, knappe fossile Energieträger und Anzeichen für einen Klimawandel heben erneuerbare Energieträger in den Blickpunkt von F&E.

EINLEITUNG

Ständig in ausreichendem Maß verfügbare Energie ist eine zentrale Grundlage entwickelter Volkswirtschaften von der Warenproduktion über private oder staatliche Dienstleistungen bis hin zur Gestaltung individueller Lebensstandards. Um die dafür benötigten Energieressourcen bereitzustellen, werden nach wie vor überwiegend fossile Energieträger eingesetzt, was bei einem zusätzlich steigenden Energiebedarf von Haushalten und Industrie zunehmend negative Auswirkungen (vor allem über die damit einhergehenden CO_2-Emissionen) auf den globalen Klimawandel hat. Es ist daher dringend geboten, den weiteren Anstieg von klimarelevanten Emissionen zu drosseln. *Österreich ist in diesem Bereich bereits unter den Technologieführern* und die Strategie 2020 des Rats für Forschung und Technologieentwicklung[1] regt dementsprechend an, die Themen Nachhaltigkeit, Umwelt und Energie als Schwerpunktthemen für Forschung und Innovation zu forcieren. Das Schwerpunktfeld *Umwelttechnik und erneuerbare Energie* leistet hier mit den darin gebündelten Expertisen der beteiligten ACR-Institute einen Beitrag. Diese Expertise umfasst sowohl die Weiterentwicklung fester Biobrennstoffe (Pellets) als auch die Erzeugung und Prozessoptimierung zur Nutzung von Biogas.

Ein weiterer Bereich ist die Nutzung der direkten Sonnenenergie mittels Solarthermie und Photovoltaik. Dabei werden technische Fragestellungen bei der Konstruktion der Kollektoren und der Integration in Dach oder Fassade bearbeitet.

Das vorliegende Innovationsradar stellt eine Auswahl aus den Themen Biobrennstoffe und Solarthermie/Photovoltaik in den Fokus, und präsentiert auf Basis der entsprechenden ACR-Kompetenzen detaillierte Informationen zu innovativen Technologien und deren Nutzen auch für kleine und mittlere Unternehmen (KMU). Im ersten Teil stehen die festen Biobrennstoffe im Mittelpunkt und darin werden basierend auf der Prozesskette verschiedene Stationen bei der Produktion bzw. Konzeption genauer beleuchtet. Der zweite Teil widmet sich der direkten Sonnenenergie. Sie kann ebenso zur Erzeugung von Wärme für unterschiedliche Anwendungen in Haus und Industrie herangezogen werden wie auch für die Stromerzeugung. Dieser Teil gibt u. a. Einblick in Nutzen und Möglichkeit der Integration (Dach oder Fassade) sowie der Speicherung der erzeugten Energie.

Feste Biobrennstoffe können aus unterschiedlichen Quellen gewonnen werden. Neben land- oder forstwirtschaftlichen Nebenprodukten werden auch Rückstände aus Produktionsprozessen eingesetzt.

NEU- UND WEITERENTWICKLUNG VON BIO-BRENNSTOFFEN, DEREN HERSTELLUNG UND EINSATZ

Die Suche nach nachhaltigen und erneuerbaren Energiequellen beschäftigt die internationale F&E-Szene, Politik, Wirtschaft und Industrie in hohem Maß. Folgende zentrale Aussagen charakterisieren die aktuelle Situation:

- In Zukunft werden alle Möglichkeiten der wirtschaftlichen Herstellung und des effizienten Einsatzes von nachhaltigen Energiequellen benötigt, auf die wir zurück greifen können – *ungenutzte Potentiale müssen mit neuen Technologien erschlossen* werden.
- Verunsicherung der Nutzer durch einen instabilen Bio-Brennstoffmarkt verursacht durch *Preisschwankungen* (abwechselnd Unterversorgung und Überproduktion z. B. bei Pellets 2006).
- Politische Vorgaben und Richtlinien zur Erreichung von Klimaschutzzielen vergrößern die *Nachfrage an CO_2-neutralen Brennstoffen,* z. B. Förderung für Biomassekessel und Biomasseheizkraftwerke, Mitverbrennung von Biomasse in Kohlekraftwerken.
- Als Rohstoff für feste Biobrennstoffe wird heute überwiegend Holz eingesetzt. Andere landwirtschaftliche Reststoffe sind aufgrund ihrer Eigenschaften bei der Pelletierung und Verbrennung derzeit noch wenig erschlossen.

Der Bereich der neuen **Biomassepotenziale** kann grundsätzlich in land- und forstwirtschaftliche Nebenprodukte und den expliziten Anbau von Energiepflanzen unterteilt werden. *Soll eine Biomassefraktion der energetischen Verwertung zugeführt werden, ist es essenziell, die passende Technologie zu wählen.* Im Folgenden wird vor allem auf feste Biomasse eingegangen, die einer Verbrennung zugeführt werden soll. Dies schließt jedoch andere Verfahren nicht aus.
In der land- und forstwirtschaftlichen Produktion liegt der Schwerpunkt auf Nebenprodukten, die während der Ernte oder im Produktionsprozess anfallen. Besonders erfolgsversprechende Ressourcen hierbei bilden:

- *Rückstände*, die bei der Ernte von Nahrungsmittel anfallen (Getreidestroh, Rapsstroh, Maisspindel, Sonnenblumenstängel etc.)
- *Produktionsseitige Nebenprodukte* (Kleie, Siloausputz, Treber, Trester, Pülpe etc.)
- *Rückstände, die bei der Pflege von Kulturen anfallen* (diverse Rückstände in der Forstwirtschaft, hölzerne Nebenprodukte des Wein- und Obstbaus etc.)

Der Anbau von **Energiepflanzen** in Form von Energiegräsern und Energieholz steht im Fokus vieler internationaler FEI-Aktivitäten. Einen guten Überblick zu bereits betrachteten Energiepflanzen in Mitteleuropa bietet die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe[2] (oder auch Internetplattformen wie etwa http://www.energiepflanzen.at).

Unter Energiegras werden landwirtschaftlich angebaute Gräser zur energetischen Nutzung verstanden. In Österreich wird Miscanthus (Miscanthus giganteus, auch Chinaschilf oder Elefantengras) großes Potenzial zugeschrieben. Der hohe Heizwert, die günstige CO_2-Bilanz und die hohe jährliche Ertragsmenge zeichnen diese Energiepflanze aus. Informationsmaterial und Erfahrungsberichte werden u.a. von den Landwirtschaftskammern bereitgestellt.

Energieholz, schnell wachsende Bäume oder Sträucher, werden in Kurzumtriebsplantagen angebaut. Innerhalb kurzer Umtriebszeiten (3 bis 10 Jahre) werden sie maschinell geerntet. Zunehmend werden längere Umtriebszeiten z. B. für Pappel bis zu 20 Jahren und die Ernte mit herkömmlicher Forsttechnik z. B. Harvestern in Betracht gezogen. Geschieht dies ausschließlich

für die Energieerzeugung, wird gerne der Begriff „Energiewald“ verwendet. In gemäßigten Klimazonen werden zu diesem Zweck vorwiegend Pappeln oder Weiden eingesetzt, die sich neben ihrem schnellen Wachstum durch erneuten Austrieb abgeernteter Triebe auszeichnen. Nach 10 bis 20 Jahren ist die Plantage erschöpft und muss neu bepflanzt werden.

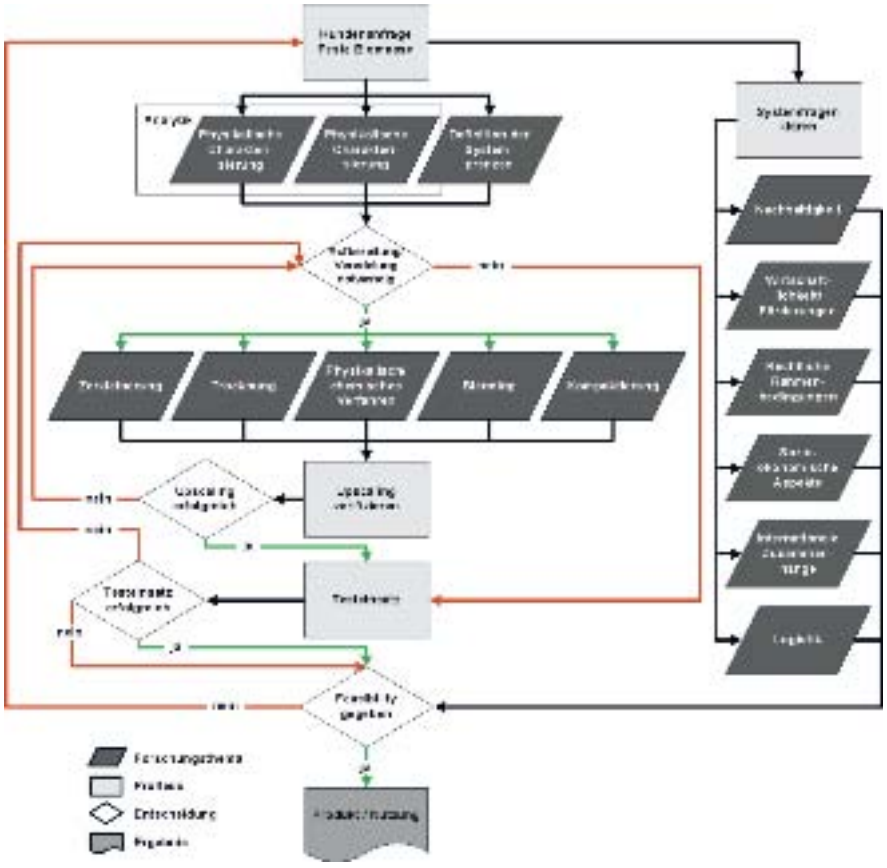
Das Potenzial einer Pflanze als biogener Brennstoff wird durch viele Kriterien bestimmt, allen voran ihre chemischen und physikalischen Eigenschaften. Bis zu einem gewissen Grad können diese auch durch Veredelung positiv beeinflusst werden. Ob eine grundsätzlich geeignete Biomassefraktion in weiterer Folge zu einer breiten Anwendung als Brennstoff kommen kann, hängt stark von ihrem *Aufkommen*, ihrer *saisonalen Verfügbarkeit*, der *Wirtschaftlichkeit ihres Transports* und ihrer *Lagerfähigkeit* sowie der Möglichkeit, eine gleich bleibende Qualität zu garantieren, ab. Fällt die Bewertung dieser Kriterien nicht ausreichend positiv aus, kann eine dezentrale Nischenlösung den richtigen Weg darstellen. Lokale Synergien können oft durch solche innovativen Systeme genutzt werden und leisten einen wertvollen Beitrag zur nachhaltigen Energieversorgung.

TECHNOLOGISCHE TRENDS

Der zugrunde liegende Entscheidungsprozess, ob sich eine Biomassefraktion zur Energiegewinnung eignet, ist in folgender Abbildung dargestellt.

Zu Beginn steht jeweils die detaillierte Charakterisierung des Rohstoffs. Im Anschluss kann durch unterschiedliche Aufbereitungsschritte eine Nutzbarmachung bzw. eine Veredelung der Biomasse erreicht werden. Parallel dazu müssen Rahmenfragen geklärt werden, die den zukünftigen Einsatz des Rohstoffes als Brennstoff sowohl positiv als auch negativ beeinflussen können. Im Folgenden werden Technologien und Entwicklungen näher erläu-

Abbildung 1: Entscheidungsweg „Biomasse zur energetischen Nutzung“[3]



tert, die *kurz und mittelfristig großes Innovationspotential* besitzen. Die vielversprechendsten Lösungsansätze in der Biomassebranche werden im Folgenden präsentiert.

Biomasseverbrennungsanlagen müssen auf eine bestimmte Qualität von Biomassebrennstoffen dimensioniert werden. Dies bedeutet, dass der Brennstoff so homogen wie möglich der Feuerung zugeführt werden muss, um einen reibungsfreien Betrieb gewährleisten zu können. Zu den relevanten Eigenschaften gehören der Feuchtegehalt und die Korngröße. Diese beiden Parameter sind Kriterien bei der direkten Verbrennung als auch bei der Weiterverarbeitung zu einem hochwertigen, standardisierten Brennstoff wie z. B. Pellets. Feuchtegehalt und Korngröße sind relevant für:

- Heizwert/Feuerraumtemperatur
- Förderfähigkeit
- Lagerfähigkeit
- Aufwand und Energiebedarf bei der Ernte und Logistik (Wirtschaftlichkeit des Produktionsprozesses)

Um Rohstoffe für die Pelletierung nutzen zu können, müssen dem konventionellen Pelletierverfahren die Prozessschritte **Zerkleinerung und Trocknung** bzw. Konditionierung vorgelagert werden. Dies stellt AnlagenplanerInnen vor die Frage, wie diese zusätzlichen Prozessschritte am energie- und kosteneffizientesten integriert werden können. Für Pelletswerke in direkter Nachbarschaft zu Sägewerken, wobei die „Produktion" der Rohstoffe (Hobel- bzw. Sägespäne) in diesen Betrieben erfolgt, ist diese Fragestellung eher von untergeordneter Bedeutung. Eine optimale, kaskadische Nutzung der Sägenebenprodukte wird jedoch vor allem bei Großproduktionen (z. B. >100.000 t Jahresproduktion) immer problematischer, da mit zunehmender Größe eine permanente, unterbrechungsfreie Produktion für den wirtschaftlichen Erfolg unerlässlich ist. Zusammen mit der steigenden Rohstoffkonkurrenz und der Abhängigkeit vom Bedarf der grundverschiedenen Baubranche setzen viele ProduzentInnen auf *Unabhängigkeit* und somit *ganzheitliche Verarbeitung von Rundholz*.

Eine vermehrt stattfindende *Integration der Prozessschritte* am Beginn des Verarbeitungsprozesses bietet ein Feld von neuen Optimierungsmöglichkeiten in Bezug auf die Energieeffizienz des Gesamtprozesses und die erzielbare Pelletsqualität.

Die derzeit verwendete Technologie zur Holzpelletsproduktion stammt aus unterschiedlichen Branchen, die Pressen z. B. aus der Futtermittelproduktion. Sie waren ursprünglich nicht für die Aufbereitung unterschiedlichster, biogener Rohstoffe zu pelletierfähigem Material entwickelt worden. Mit zunehmendem ökonomischem und ökologischem Druck werden Fragestellungen wie die tatsächliche *Eignung der Trocknungs- und Zerkleinerungstechnologien* im Rahmen der Pelletierung in Bezug auf Energieeffizienz, Kosten, Spanform oder die angestrebte Pelletsqualität immer relevanter. Vor allem in vergleichenden Untersuchungen der unterschiedlichen Technologien (z. B. Band-, Rohrbündel-, Trommeltrockner bzw. Schredder, Hacker, Hammer-, Koller- oder Prallmühlen) und ihrer Eignung für die unterschiedlichen Biomassen sowie deren Einfluss auf die Pelletsqualität wird ein technisches Innovationspotenzial für kooperative Forschung von Unternehmen und Forschungsinstituten, aber auch für unternehmerische Eigenforschung gesehen.[4]

Einen weiteren Aspekt der Auswahl bestimmter Technologien stellen die *Investitionskosten* sowie die *Betriebskosten* für eine Anlage dar. In der Praxis bedeutet dies z. B. beim Einsatz eines Bandtrockners die notwendige Investition in einen kostenintensiven Trockenspansilo zur Materialreifung,

Durch die Vorbehandlung der Biomasse z. B. durch Torrefikation kann die Einsetzbarkeit verbessert werden.

der bei Verwendung eines Trommeltrockners gerne eingespart wird. Der Bandtrockner besitzt im Vergleich zu Trommeltrocknern eine größere Flexibilität beim gewählten Temperaturniveau und kann daher, verglichen mit dem Trommeltrockner, besser in eine kaskadische Wärmenutzung integriert werden. Die Auswahl der geeigneten Technologien bei Nutzung von Synergien z. B. die Einbindung günstiger Niedertemperaturwärme, hat somit großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des gesamten Produktionsprozesses und muss immer im Gesamtkontext bewertet werden. Umfangreiche Systemkenntnis und sorgfältige Planung sind Voraussetzung für jede Investition in Pelletieranlagen.

Unter Zusammenarbeit von drei ACR-Instituten[5] wird ein europaweit führendes Biomassezentrum aufgebaut. Dieses Zentrum bietet die Möglichkeit, unterschiedliche Technologien direkt miteinander zu vergleichen und die optimale Kombination sowie mögliches Verbesserungspotenzial zu identifizieren.

Durch die zentrale Bedeutung der Zerkleinerung und Trocknung auf die Nutzbarmachung unterschiedlicher Ausgangsmaterialien für die Pelletierung, steht KMU in diesem Bereich ein *breites Betätigungsfeld* offen. Nicht nur Maschinen- oder Anlagenbauer können ihr Produktportfolio ergänzen oder erweitern, sondern auch die Planung neuer oder Optimierung bestehender Anlagen wird an Bedeutung gewinnen.

Noch vor einem Jahr nur wenigen FachexpertInnen bekannt, gewinnt torrefizierte Biomasse zunehmend an Bedeutung. **Torrefikation** wird derzeit international als eine der wichtigsten Entwicklungen im Bereich fester Biomassebrennstoffe gehandelt. Die Grundzüge des Prozesses an sich sind relativ leicht erklärt, die Gesamtheit der Reaktionen stellt jedoch, insbesondere im industriellen Maßstab, eine Herausforderung dar. Holzartige und krautartige Biomasse besteht hauptsächlich aus Wasser, Zellulose, Hemizellulose und Lignin. Im Torrefikationsprozess wird bei 200–300°C unter Sauerstoffausschluss zuerst das gesamte vorhandene Wasser ausgetrieben, danach zersetzt sich die Hemizellulose und teilweise auch das Lignin des Rohmaterials. Diese Prozesse führen zur Änderung der chemischen und physikalischen Eigenschaften. Darüber hinaus kommt es zu einem Masseverlust von ca. 70 %, wobei 90 % des Energieinhalts im Feststoff erhalten bleibt. Das sind *ideale Voraussetzungen* für den neuen Biobrennstoff. Das Verfahren selbst ist *in hohem Maße energieeffizient*, da die Reaktion nach dem Start weitgehend exotherm abläuft. Die Anfahrenergie wird mit nachhaltigen Brennstoffen erzeugt und das entstehende Torrefikationsgas wird wiederum zur thermischen Energiegewinnung eingesetzt. Das Verfahren ist in der Lage insbesondere landwirtschaftliche Reststoffe, wie z. B. Waldrestholz, Bambus, Maisspindeln, Zuckerrohrrückstände, Palmkernschalen, aber auch Energiegräser wie Miscanthus zu einem Brennstoff mit relativ homogenen Eigenschaften umzuwandeln. Wird die torrefizierte Biomasse im Anschluss kompaktiert, entsteht das Zielprodukt, das direkt als Kohlesubstitut eingesetzt werden kann, ohne bestehende Einrichtungen der Kohleverbrennung kostenintensiv verändern zu müssen. Die Vorteile im Vergleich zu herkömmlichen Holzpellets sind:

- hohe Energiedichte von 15 bis 18 GJ/m³ (zum Vergleich: Holzpellets 11 GJ/m³),
- hydrophobe (wasserabweisende) Eigenschaften – der Brennstoff kann im Freien gelagert werden,
- verbesserte Mahlbarkeit – weniger Energieaufwand bei der Verarbeitung,
- geringere biologische Aktivität – daher sind kaum Abbauvorgänge zu beobachten,

Abbildung 2: Rohstoffportfolio für die Torrefikation – Auswahl: Holz, Nussschalen, Bambus (Foto: ofi)

Abbildung 3: Kompakteres Produkt aus torrefiziertem Material (Foto: ofi)

- aus unterschiedlichsten Rohmaterialien kann ein relativ einheitliches Produkt hergestellt werden.

Durch diese Verbesserungen können *hohe Einsparungen* von bis zu 30% beim Transport und bei der Anwendung erreicht werden, was zusätzlich zur Attraktivität des neuen Biobrennstoffes beiträgt.

Torrefizierte Biomasse zielt vorwiegend auf den Einsatz als Kohlesubstitut ab. Sie soll in den Kraftwerken fossile Energieträger ersetzen und somit zur nachhaltigen Energiegewinnung beitragen. Unter den derzeit gegebenen Bedingungen ist es (noch) nicht möglich, aus der Stromproduktion mittels Kohle auszusteigen. Ganz im Gegenteil, Kohlekraftwerke erfahren einen kontinuierlichen Zuwachs und Kohle ist seit Langem einer der weltweit wichtigsten Energieträger für die Stromerzeugung. Darüber hinaus liegt der elektrische Wirkungsgrad in modernen Großkraftwerken mit über 40% weit über denen von Biomassekraftwerken (10 bis 25%). Kurz- und mittelfristig ist die Co-Verbrennung von Biomasse die einzig nachhaltige Möglichkeit einer Verringerung des fossilen CO_2-Ausstoßes. Gelingt die Entwicklung, bietet alleine die Kohlesubstitution ein *enormes Einsatzpotenzial*. Selbst in einem Szenario von „nur" 10% Co-Verbrennung in lediglich 10% der weltweit installierten Kohlekraftwerke führt dies zu einem Bedarf von etwa 33 Mio. t

Ein breites Rohstoffportfolio ist für die Biobrennstoffproduktion wichtig. Damit auch Energiegräser oder landwirtschaftliche Nebenprodukte Verwendung finden, müssen Zusatzstoffe eingesetzt werden.

torrefizierter Biomasse pro Jahr, dadurch könnten jährlich 97 Mio. t CO_2 eingespart werden.

Die Umsetzung des technischen Prozesses in den industriellen Maßstab ist nicht einfach. Weltweit arbeiten derzeit mehrere F&E-Konsortien an der Inbetriebnahme von Demonstrationsanlagen. Die Umsetzung der österreichischen Technologie, des ACB-Prozesses (accelerated carbonisation biomass[6]) findet in der Steiermark statt. Auf einem ähnlichen Entwicklungsstand stehen vergleichbare Forschungsgruppen in Skandinavien, Frankreich und Belgien. In dieser letzten Phase der Forschung und unter Berücksichtigung des enormen Potenzials des neuen Produktes haben sich große Energieversorger bereits die ersten Kontingente torrefizierten Materials gesichert. *Die gesamte verfügbare Produktmenge wird problemlos Absatz finden*, ganz gleich, welches der Entwicklungsteams letztendlich den Wettlauf um die wirtschaftlichste, industrielle Anlage gewinnen wird.

Das **Rohstoffportfolio** zur Energieversorgung muss zukünftig signifikant erweitert werden, um die ambitionierten Schlüsselziele des Europäischen Rats im Bereich der festen Biomasse zu erreichen. Das Ziel der Forschungsarbeiten liegt in der Entwicklung von Mischpellets, die sich analog zu den hohen Qualitätsstandards für Holzpellets (z. B. ENplus, DINplus, ÖNORM M 7135) an eigenen gerade entwickelten Standards orientieren (z. B. EN 14961-6, ÖNORM C 4000 oder ÖNORM C 4002). Unter dem Begriff Mischpellets werden Pellets aus unterschiedlichen Rohstoffquellen zusammengefasst. Folgende Ressourcen können zukünftig für deren Produktion in Betracht gezogen werden:

- Ein breites Spektrum an Nebenprodukten aus der agrarischen Produktion (z. B. Kleie, Trester, Treber, Pülpe)
- Energiegras (z. B. Miscanthus, Malvengewächse)
- Kurzumtriebsholz (z. B. Weiden, Pappel, Robinie)

Die Vorteile dieser Neuentwicklung bestehen vor allem in der Sicherstellung der nötigen Ressourcen. Ein wichtiger Aspekt, der im Rahmen des gesamten Entwicklungsprozesses einbezogen werden muss, ist die Vermeidung einer Konkurrenzsituation zur Nahrungs- bzw. Futtermittelproduktion.

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass alternative Biomassefraktionen im Vergleich zu Holz *schlechtere Verbrennungseigenschaften* besitzen. Zu den besonders kritischen Parametern zählen das Ascheschmelzverhalten, die Stickoxid- (NO_x) und Staubemissionen sowie die korrosiven Eigenschaften verursacht durch einen hohen Chlorgehalt. Für die Entwicklung eines standardisierten Brennstoffs zielt die Forschung darauf ab, die kritischen Parameter der zukünftigen Mischpellets zu optimieren, wobei unterschiedliche Strategien verfolgt werden. Beim Ascheschmelzverhalten wurden gute Ergebnisse durch die Beimengung des Additivs Kalk erzielt, wodurch der Ascheerweichungspunkt bis auf ein holzähnliches Niveau angehoben werden kann.

Zur Reduktion der NO_x-Emissionen können unterschiedliche Strategien gewählt werden. Investitionen in eine hoch entwickelte Verbrennungssteuerung sind vor allem bei mittleren und größeren Biomassefeuerungen zielführend. Für kleinere Anlagen müssen Möglichkeiten zur Reduktion des Stickstoffgehalts im Brennstoff durch spezielle Vorbehandlung des Rohstoffs gefunden werden. Hier wird z. B. der Einsatz von bestimmten Enzymen analysiert, die den brennstoffseitigen Stickstoff eliminieren. Die Entwicklung eines marktreifen Verfahrens ist erst mittelfristig zu erwarten.

Die Staubemissionen stellen besonders bei Kleinanlagen einen heftig disku-

Durch Optimierungsmaßnahmen bei den Produkteigenschaften sowie den Verbrennungsparametern wird ein signifikanter Beitrag zur nachhaltigen Energieversorgung geleistet.

tierten Punkt dar. Die in Deutschland bereits gesetzlich verankerte, wiederkehrende Messung der Staubemissionen von Kleinanlagen gibt die Forschungsrichtung vor. Neben der Entwicklung von *Messtechnik* ist *die Entwicklung besonders emissionsarmer Feuerungen und Sekundärmaßnahmen* wie z. B. Staubfilter für Kleinanlagen notwendig.

Eine andere Art der Zugabe von Additiven betrifft die nachträgliche Behandlung der Biomasse (speziell von Pellets) mit z. B. flüssigen Materialien wie Ölen. Durch Besprühen bzw. Tauchen wird nach dem eigentlichen Kompaktierungsvorgang eine Verbesserung bestimmter Eigenschaften wie dem Abriebverhalten und der Rieselfähigkeit erreicht.

Durch die unterschiedlichen Optimierungsmaßnahmen bei den Produkteigenschaften sowie den Verbrennungsparametern kann ein signifikanter Beitrag zur Erfüllung der europaweiten Ziele zur nachhaltigen Energieversorgung bei gleichzeitig geringen Schadstoffemissionen geleistet werden. KMU, die im Zuge ihrer Produktion pelletierfähige Nebenprodukte zur Verfügung haben, können durch den Einsatz geeigneter Blends eine *zusätzliche Einkommensquelle* erreichen. Insbesondere im *Kundensegment der privaten Haushalte* kann durch optimierte Pellets ein Wettbewerbsvorteil entstehen, da auch zukünftige eingeführte Vorschriften oder strengere Grenzwerte eingehalten werden können.

Neben den unterschiedlichen **Feuerungstechnologien** wird gerne die Feuerungswärmeleistung als Klassifizierungskriterium heran gezogen. Interessante Entwicklungen finden nach wie vor in allen Leistungsbereichen statt, hervorgehoben wird die Entwicklung der kleinsten Anlagen für feste Biobrennstoffe (< 10 kW). Diese Entwicklung ist mit der Implementierung der europäischen Richtlinie für Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden[7] verknüpft. Die Richtlinie zielt auf eine signifikante Reduktion des Energiebedarfs von Gebäuden ab. Ab dem Jahr 2020 sollen alle Neubauten dem *Niedrigstenergie- bzw. Passivhausstandard* entsprechen. Mittelfristig wird davon ausgegangen, dass ein neugebautes Haus mit einer Heizlast von weniger als 10 kW auskommen wird.

Pellets entsprechen einerseits in hohem Maß dem Bedarf nach einer automatisierten Heizung und stellen eine komfortable Möglichkeit dar, im Niedrigstenergie- und Passivhaus einen Restwärmebedarf zu decken. Andererseits sind herkömmliche Pelletskessel hinsichtlich ihrer Leistung oftmals überdimensioniert für die niedrige, benötigte Heizlast. Dies führt zu verstärktem *Teillastbetrieb* und verursacht bei geringerer Effizienz höhere Emissionen sowie zahlreiche Probleme beim Betrieb (z. B. erhöhter Wartungsaufwand). Analysen am Markt erhältlicher Systeme haben *wesentliches Optimierungspotenzial* ergeben.[8]

Zielsetzung der aktuellen Entwicklungen ist ein Kleinstbrenner (6 kW), der sowohl bei Nennlast, als auch bei Teillast (30%) strengen Emissions- und Wirkungsgradvorgaben, sowie Vorgaben an den Hilfsenergieverbrauch entspricht. Zur Einhaltung dieser Vorgaben ist eine möglichst vollständige Verbrennung erforderlich, diese hängt im Wesentlichen von 3 Faktoren ab:

- Temperatur in der Brennkammer
- Verweilzeit in der Brennkammer
- Durchmischung der Brenngase mit Sauerstoff

Die wesentlichen Innovationen, die zur Erreichung der hoch gesteckten Ziele geführt haben beziehen sich insbesondere auf die Brennkammer, den Brennteller bzw. Rost und auf die Brennstoffzufuhr[9]. Den EndkundInnen stehen nun automatische Pellets-Zimmerheizgeräte

Auch bei der Verwendung von Pellets muss der ökologische Rucksack berücksichtigt werden. Dieser Aspekt wird zukünftig an Bedeutung gewinnen und den Einsatz von Pellets beeinflussen.

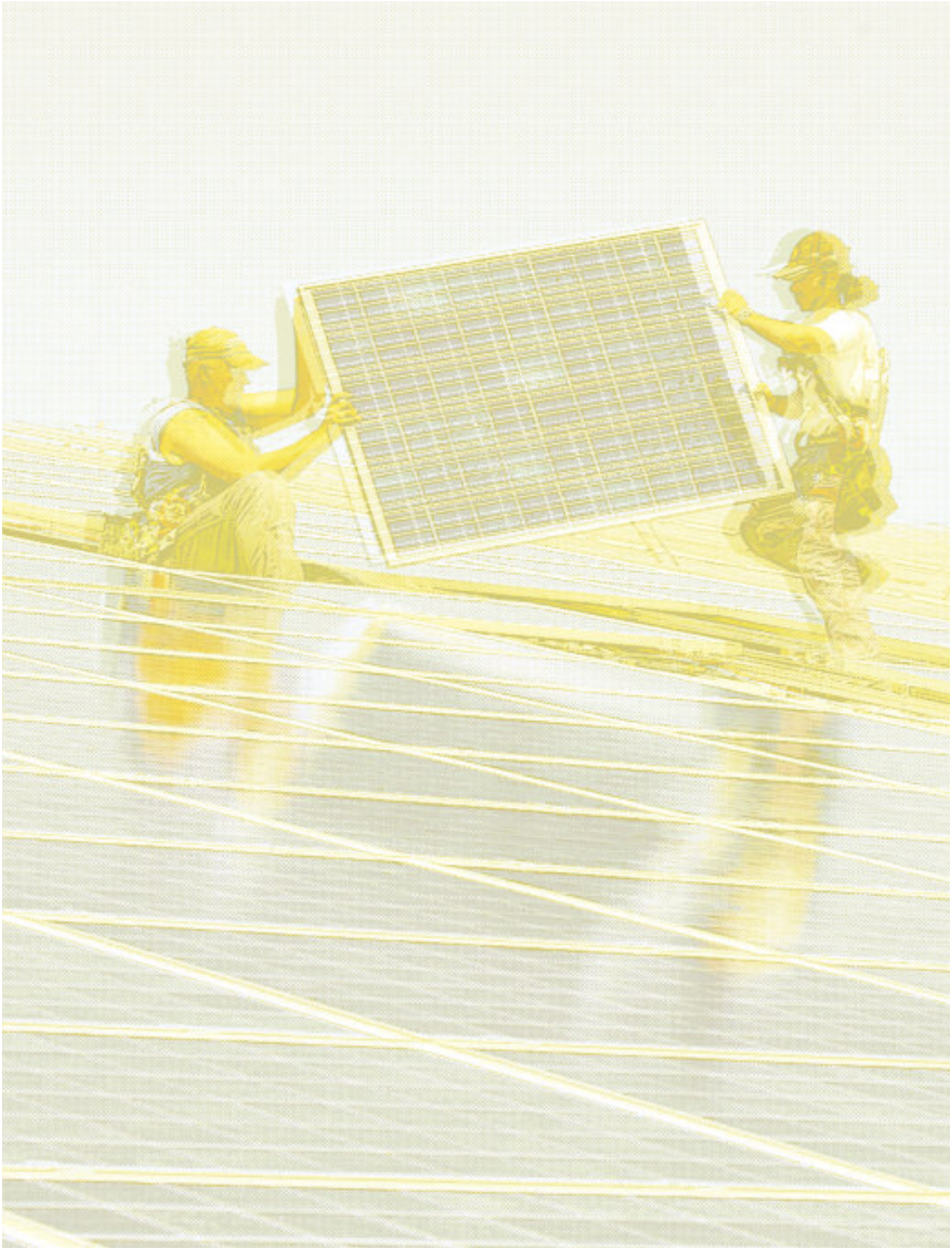
zur Verfügung, die sowohl ökologisch, als auch hinsichtlich ihrer Investitionskosten eine echte Alternative darstellen, auch weil gegebenenfalls Pufferspeicher entfallen können.

Die Frage nach den **Umweltauswirkungen** eines Produktes/einer Technologie spielt eine wichtige Rolle für die nachhaltige Sicherung des sozioökonomischen Fortschritts und allgemeinen Lebensstandards. Aufstrebende Branchen mit Wachstumspotenzialen sind von dieser Fragestellung besonders betroffen. Die Wertschöpfungskette rund um die Energiebereitstellung aus fester Biomasse gehört dazu. Nicht zuletzt, da auch zukünftig alternative Energiebereitstellung intensiv ausgebaut werden muss, um den steigenden Energiebedarf decken zu können. Eine wesentliche Kenngröße zur Bewertung der Klimarelevanz stellt der *Product Carbon Footprint* dar. Er ist ein Maß für die treibhausrelevanten Emissionen, die über den gesamten Lebenszyklus eines Produktes entstehen. Obwohl das Rohmaterial Holz bzw. andere biogene Rohstoffe an sich klimaneutral sind, sind die Produktionsschritte entlang seiner Wertschöpfungskette und die Nutzungsphase vielfach mit Material und Energieeinsatz verbunden und haben somit einen nicht unwesentlichen Einfluss auf unser Klima. Speziell im Gebäudeverband werden bereits jetzt Deklarationen zu den ökologischen Auswirkungen jeder eingebauten Komponente verlangt, in Bezug auf den „CO_2-Rucksack" gehen die Bestrebungen international in die gleiche Richtung. Bei der Umsetzung gibt es allerdings national unterschiedliche Strategien. Diese reichen von einer bloßen Information für PlanerInnen bis hin zu einem Zertifikat, das den KonsumentInnen als Vergleichsbasis innerhalb einer Produktgruppe dienen soll.

In naher Zukunft wird sich jedes Unternehmen mit seinen Umweltauswirkungen bzw. den ihrer Produkte auseinander setzen müssen. Die ernsthafte Beschäftigung mit dieser Thematik hat auch Vorteile, da Optimierungsmaßnahmen zumeist mit finanziellen Einsparungen einhergehen:

- Energieeinsparung
- Materialeinsparung und
- Verwertung von Produktionsrückständen.

Eine entsprechende Analyse und Zertifizierung der Produkte und Prozesse kann nicht nur zur Optimierung von Kosten führen, sondern zusätzlich die allgemeine *Zukunftsfähigkeit* eines Unternehmens sichern. Die aktive Kundenkommunikation der Nachhaltigkeit der eigenen Produkte und Verfahren kann zu weiteren *Wettbewerbsvorteilen* führen.



ENERGIE AUS DER SONNE

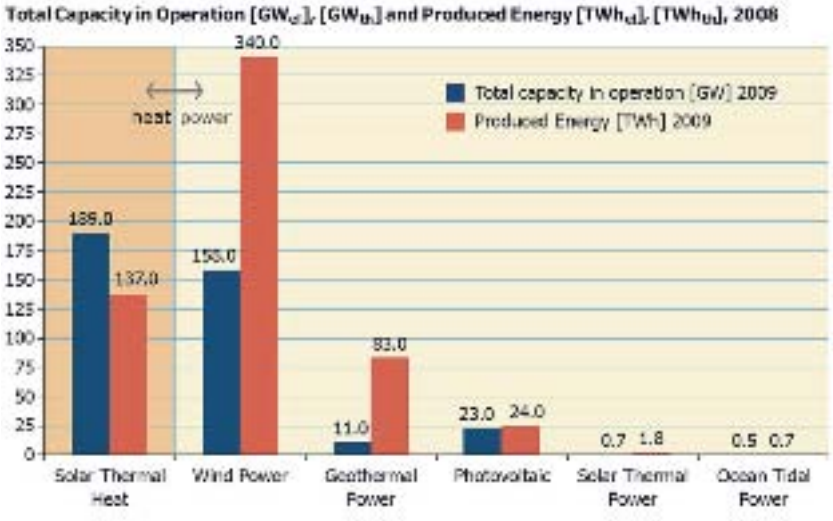
SOLARTHERMIE

Thermische Energie macht einen wesentlichen Anteil des gesamten weltweiten Energiebedarfs aus. Allein der Gebäudesektor verbraucht 35,3 %, von denen 75 % auf die Bereiche Raumheizung und Brauchwassererwärmung fallen. Neben dem Gebäudebereich besteht ein beträchtlicher Verbrauch thermischer Energie auch bei industriellen Prozessen und wärmeintensiven Dienstleistungen.

Effizienzsteigerungen schaffen die notwendigen Voraussetzungen für eine zunehmende Deckung des thermischen Energiebedarfs auf Basis erneuerbarer Energieträger. So werden die knappen fossilen Ressourcen frei, um sie in Bereichen einzusetzen, in denen sie weniger leicht zu substituieren sind. Es ist dabei zu bemerken, dass schon aktuell die solarthermische Energiebereitstellung weit vor anderen (elektrischen) erneuerbaren Technologien liegt (Abbildung 4).

Die Innovationen im Bereich der solarthermischen Energienutzung (z. B. Kollektoren, Speicher oder Systemtechnik) betreffen sowohl die Neu- und Weiterentwicklung von Komponenten als auch die Erschließung von neuen Anwendungsgebieten, z. B. das „Aktive Solare Gebäude", das 100 % seines Wärmebedarfs solar deckt, die Nutzung von solarthermischen Systemen im Bereich der industriellen Prozesswärme oder das solar unterstützte Kühlen. Im Folgenden wird den Kollektoren und Speichern als zentralen Elementen einer solarthermischen Anlage jeweils ein Kapitel gewidmet. Als Vertreter von Einsatzbereichen mit hohem Innovations- und Zukunftspotenzial werden das „Solare Kühlen" und der Einsatz von „Solarer Prozesswärme" vorgestellt.

Abbildung 4: Weltweite Gesamtleistung / Energie bei erneuerbaren Energietechnologien[10]



TECHNOLOGISCHE TRENDS

Die Schwerpunkte der angewandten Forschung liegen bei den Kollektoren in den Bereichen *Reduktion der Herstellungs- und Montagekosten* sowie der *Optimierung der Kollektoren*, um den Systemertrag weiter zu erhöhen. Ein verhältnismäßig neuer Bereich der Entwicklung liegt in der **Integration von Kollektoren** in das Dach oder die Fassade. Durch die Möglichkeit, die Kollektoren nicht nur als Zusatzgerät auf das Dach zu installieren, sondern als integralen Bestandteil des Gebäudes zu konzipieren, eröffnen sich zusätzliche Anwendungsbereiche. Solche integrierten Kollektoren sind z. B. in der Lage, architektonische Anforderungen an ein Gebäude besser zu erfüllen. Aus technologischer Sicht muss dabei

Nicht nur die Weiterentwicklung und Produktion von Kollektoren erfolgt zum großen Teil durch KMU, auch die Umsetzung innovativer Ideen bei den Einsatzbereichen wird durch KMU ermöglicht.

gewährleistet werden, dass Speicher, Wärmeverteil- und Wärmeabgabesysteme etc. *bereits in der Grundkonstruktion* integriert sind. Dachelemente mit integrierten Kollektorsystemen können trotz identischen Aussehens unterschiedliche Funktionen erfüllen. So kann neben dem Witterungsschutz auch die Funktion eines Dachfensters erfüllt werden. Ebenso besteht die Möglichkeit, die Funktionalitäten von solaren Wasser- bzw. Luftkollektoren, Photovoltaikmodulen oder Energiespeichern einzubinden.

Im Fassadenbereich können integrierte Kollektoren als (solare) Wärmequelle oder Wärmesenke zum Einsatz kommen. Darüber hinaus ist die Funktionalität der Dämmung integrierbar. Ein Fassadenkollektor kann also auch passive Wärmeverluste reduzieren helfen. „Unsichtbare Kollektoren", wie spezielle Typen von Fassadenkollektoren oder dachintegrierten Kollektoren, ahmen die in alten Gebäuden verwendeten Materialien nach und sind daher vor allem im Bereich Denkmalschutz von Interesse.

Die Produktion von Kollektoren bzw. von Kollektorkomponenten wird zum großen Teil durch KMU durchgeführt. In diesem Forschungs- und Entwicklungsfeld bestehen insbesondere für kleinstrukturierte Firmen interessante Möglichkeiten. Die vielfältigen *Adaptierungsmöglichkeiten* bei den Kollektoren und die Schaffung von Systemen zur Gebäudeintegration eröffnen die Möglichkeit, sich in diesem Marktsegment mit *Spezialanwendungen* und *Nischenprodukten* zu etablieren.

Eine wesentliche Komponente bei solarthermischen Anlagen stellt der **Wärmespeicher** dar. Thermische Energiespeicher entkoppeln immer Angebot und Nachfrage und sind daher essentiell für den Betrieb von solarthermischen Systemen. Während aktuell praktisch nur Wasser als Speichermedium verwendet wird, werden derzeit alternative Speichertechnologien untersucht, allerdings sind für neue Speichertechniken umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten notwendig. Durch die Entwicklung neuer Speichermaterialien auf der Basis von Phasenwechsel- und Sorptionsmaterialien sind prinzipiell *völlig neue Ansätze zur Wärmespeicherung mit geringen Speicherverlusten* möglich. Dadurch werden höhere Energiedichten möglich, was den Einsatz dezentraler Wärmeversorgungssysteme unterstützt. Dabei macht der reduzierte Energieverbrauch in modernen Gebäuden derartige neue Ansätze aus systemtechnischer Sicht besonders aussichtsreich.

Darüber hinaus eröffnen sich durch neue Speichermaterialien auch neue Einsatzmöglichkeiten im Bereich hoher Temperaturen für die solarthermische Kraftwerkstechnik und für die bessere Nutzung industrieller Prozesswärme. Dabei werden z. B. granulare Festkörper in einem Reaktionsraum geführt und die gespeicherte oder frei werdende Wärme abtransportiert. Diese neuen Speicherkonzepte weisen aktuell einen sehr *hohen Forschungs- und apparativen Entwicklungsbedarf* auf.

Allgemein besitzen insbesondere Industriebranchen, die in ihren Produktionsprozessen eine hohe Zyklenzahl aufweisen, großes Potenzial für den Einsatz thermischer Speicher. Als Beispiele für solche Industrien können die *Lebensmittelindustrie, Gießereien, Galvanik-Betriebe, Verzinkereien (Vorwärmung), Lackierereien, Beschichtungsbetriebe oder landwirtschaftliche Betriebe* angeführt werden. Mit der Ergänzung der bestehenden Energieversorgungssysteme um thermische Wärmespeicher, können die Prozesskosten mittelfristig gesenkt werden.

Am Markt gibt es momentan eine zunehmende Anzahl an Systemanbietern, die eine Kombinationen von Solarthermie und Wärmepumpen anbieten. Durch den Einsatz eines Wärmespei-

chers (z. B. über Sonnenkollektoren beladen) als Wärmequelle für die Wärmepumpe kann die *Effizienz* solcher Systeme gesteigert werden. Durch die relativ niedrige nutzbare Temperaturdifferenz ergibt sich beim Einsatz von Phasenwechselmaterial eine im Vergleich zur konventionellen (sensiblen) Wärmespeicherung wesentlich *höhere Speicherkapazität*.

Neben den Anwendungen zur Wärmebereitstellung in Gebäuden und für Prozesse finden sich auch zahlreiche Möglichkeiten zum mobilen Einsatz. Gerade dieses Anwendungsfeld ist für KMU besonders attraktiv, da es aktuell einen Nischenmarkt darstellt, zukünftig aber *großes Potenzial* aufweist. Die möglichen Anwendungen reichen dabei von Kabinenheizungen für Elektrofahrzeuge (diesen fehlt die Abwärme des Verbrennungsmotors für das Erwärmen des Innenraums) über die Entfeuchtung und Klimatisierung von Fahrzeugen durch den Einsatz chemisch-sorptiver Wärmespeicher. Ebenso kann eine dezentrale Wärmebereitstellung in transportierbaren Containern für die Gebäudeheizung realisiert werden, wenn die Beladung des Speichers aus industrieller Prozessabwärme gewonnen werden kann.

Was auf den ersten Blick unvereinbar klingt, zeigt in der Praxis *erhebliches Potenzial*. Das **solarthermische Kühlen** ist eine Möglichkeit, den Energiebedarf zur Gebäudekühlung abzu-

decken. Die gängigen, verfügbaren Funktionsprinzipien am Markt sind Absorptionskälteanlagen, Adsorptionskälteanlagen und Desiccant-Evaporative-Cooling (DEC) Anlagen.

Sowohl Absorptions- als auch Adsorptionskälteanlagen funktionieren im Wesentlichen wie ein Kühlschrank. Durch die Verdichtung und Entspannung eines Kältemittels kann durch thermodynamische Prozesse Wärmeenergie aufgenommen und an anderer Stelle abgegeben werden. Diese Art von Kälteanlage ist weit verbreitet, wobei Absorptionsanlagen mit einem flüssigen Kältemittel arbeiten und Adsorptionsanlagen mit einem festen. Beiden gemeinsam ist die Möglichkeit, die für die Funktion notwendige Verdichtung des Kältemittels nicht durch einen elektrisch betriebenen Kompressor zu erreichen, sondern hierfür thermische Energie zu nutzen.

DEC-Anlagen sind als offene Systeme konzipiert, die mit Wasser als Kältemittel in direktem Kontakt mit der Zuluft arbeiten. Es werden derzeit Systeme mit festen Sorptionsmitteln zur Trocknung der Luft eingesetzt. Die nachträgliche Befeuchtung bewirkt die erforderliche Luftkühlung. Systeme mit flüssigen Sorptionsmitteln zur Zwischenspeicherung sind in Entwicklung.

Das solarthermische Kühlen profitiert dabei auch vor allem von der saisonalen Gleichzeitigkeit von solarer Einstrahlung und anfallender Kühllast. Zudem kann die solarthermische Anlage nicht nur zur Kühlung, sondern *auch zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung ganzjährig* genutzt werden. Primärenergieeinsparungen im Vergleich zu Kompressionskältetechnologie *bis zu 40 %* sind derzeit realisierbar.

Mittelfristige Schwerpunkte von Forschung und Innovation bestehen bei der solarthermischen Kühlung im Bereich der Anlagenkonzeption sowie bei der Reduktion des Energieverbrauchs der Aggregate. Der Markt im Bereich der solar unterstützten Klimatisierung bzw. Kühlung ist im Vergleich zu den jährlich millionenfach verkauften konventionellen Kühlaggregaten kleiner und befindet sich in einer *sehr frühen Phase*. Aktuell existieren nur wenige Unternehmen weltweit, die Gesamtlösungen für solare Kühlsysteme anbieten. Dies bietet zukünftig ein großes Betätigungsfeld, daneben besteht großer *Bedarf an der Entwicklung von effizienten Kühlaggregaten im kleinen Leistungsbereich*.

Fast 20 % des europäischen Endenergieverbrauchs werden für **industrielle Prozesswärme** aufgewendet. Diese wird z. B. zur Trocknung oder zum Erhitzen von Material eingesetzt. In vielen industriellen Prozessen ist der Energiebedarf relativ konstant und daher werden schon heute vergleichs-

Die Sonne wärmt nicht nur; sie kann auch für angenehme Kühle im Sommer sorgen. Moderne Technik und die Grundsätze der Thermodynamik machen dies möglich.

weise geringe spezifische solare Wärmegestehungskosten erreicht. Bei vielen industriellen Prozessen können prozessinterne Wärmespeicher genutzt werden, was zu Kostenvorteilen für die solarthermische Wärme führen kann. Allerdings sind die Anforderungen der Industrie an die *Amortisationszeiten sehr hoch* und die Einspeisung der Solarwärme in die industriellen Prozesse ist teilweise aufwändig.

Berücksichtigt man den jetzigen Entwicklungsstand der thermischen Solartechnik muss das tatsächlich nutz- und realisierbare Potenzial der solarthermischen Prozesswärmeerzeugung in aussichtsreichen Anwendungen und Industriebranchen detailliert analysiert werden. Dazu zählen u.a. die Prozessanalyse zur Ermittlung von Temperaturniveaus, Leistungen und Energiebedarfs-Profilen. Aus Sicht der Solartechnik sind die vier Temperaturbereiche bis 80°C, bis 130°C, bis 170°C und bis 250°C mittelfristig voraussichtlich von Interesse. Je höher die zur Verfügung gestellt Prozesswärme ist, desto höher sind die Anforderungen an Dämmungen und Kollektormaterialien. Außerdem muss die Einbindung bzw. Einbindbarkeit in bestehende Prozesse – insbesondere Niedertemperaturprozesse – gewährleistet sein.

Die Herausforderung für KMU ist in zweifacher Hinsicht zu sehen: Einerseits müssen Komponenten für Prozesswärmesysteme (vor allem Kollektoren aber auch Speicher oder Wärmetauscher) entwickelt oder zumindest modifiziert werden. Andererseits muss bedacht werden, dass die Einbindung von erneuerbarer Wärme immer die Analyse des bestehenden Prozesses bedingt. Gerade die Einbindung kann kaum verallgemeinert werden und macht eine Konzeptentwicklung für jeden Kunden notwendig. Dies bietet für Systemlieferanten aber auch für Planungsbüros ein weites Betätigungsfeld.

PHOTOVOLTAIK

Die Photovoltaik (PV) gilt heute als ausgereifte Technologie zur direkten Erzeugung von Strom aus solarer Strahlung. Mit sinkenden Preisen setzte um die Jahrtausendwende auch eine Wende in der Photovoltaikbranche ein: Im Jahr 2000 war erstmals der Anteil netzgeführter Photovoltaikanlagen höher als Inselanlagen, d.h. Einzelanlagen ohne Anschluss an das Stromnetz[11]. Spätestens zu diesem Zeitpunkt wurde deutlich, dass sich die Photovoltaik hin zu einem vollwertigen Stromträger im öffentlichen Stromnetz entwickeln würde.

Mit einem Anteil am Gesamtstromaufkommen von weniger als 1% steckt die Photovoltaik (auch im Vergleich mit Nachbarländern) in Österreich zwar noch in den Kinderschuhen. Die von Österreich verfolgte Förderstrategie zeigt in den letzten Jahren aber mehr und mehr positive Ergebnisse. Ende 2010 waren in Österreich 95,5 Megawattpeak (MW_p) an photovoltaischer Nennleistung installiert[12], wobei mit 42,7 MW_p beinahe die Hälfte davon allein im Jahr 2010 installiert wurde.

TECHNOLOGISCHE TRENDS

Die Vorherrschaft der kristallinen Solarzellen auf dem Weltmarkt sowie auch in Österreich ist nach wie vor ungebrochen. Während vor einigen Jahren noch monokristalline Solarzellen aufgrund ihrer höheren Wirkungsgrade weit verbreitet waren, verloren diese mehr und mehr Marktanteile an polykristalline Zellen. Diese ermöglichten aufgrund ihres Preisvorteils *höhere Renditen* bei Investitionen. Zusätzlich konnten bei der Entwicklung polykristalliner Solarzellen *große Fortschritte beim Wirkungsgrad und der optischen Erscheinung* gemacht werden, sodass die Vorteile der monokristallinen Technologie stark schrumpften. End-

Die Photovoltaik stellt eine wichtige Alternative zur konventionellen Stromerzeugung dar. Durch neue Speicherkonzepte wird sie nicht nur für PrivatkundInnen, sondern auch für die Industrie interessant.

kundInnen entschieden sich vermehrt für polykristalline Zellen mit geringerem Wirkungsgrad in Kombination mit hocheffizienten Wechselrichtern. Insgesamt verloren kristalline Zelltypen in den letzten Jahren einiges an Boden gegenüber Dünnschichtzellen. Diese verwenden kostengünstigere Halbleitermaterialien als kristalline Solarzellen und benötigen nur einen Bruchteil des Materials. Die Kostenvorteile sanken durch *enorme Preisstürze* bei den kristallinen Solarzellen, wodurch die unterschiedlichen Technologien seither ungefähr gleich bedeutend sind.

Grundsätzlich ist Photovoltaik eine *sehr attraktive Energieform für KMU*, da in den meisten Betrieben der Großteil des Stromverbrauchs tagsüber anfällt, wenn potenziell auch Solarstrom verfügbar ist. Großbetriebe mit Schichtbetrieb können davon weniger profitieren. KMU können so einen Teil ihres Stromverbrauchs selbst decken und Stromkosten sparen. Um diesen Vorzug nutzen zu können, muss die PV-Anlage für die Nutzung des Solarstroms für den Eigenverbrauch ausgelegt werden. Bei dieser Planung ist es nicht notwendig oder angestrebt, dass ein Betrieb das ganze Jahr ausschließlich mit Solarstrom versorgt wird, was ohnehin nicht möglich ist. Je nach Anlagengröße (beginnend ab 1 kW_p) und -zusammenstellung kann der Anteil an selbst verbrauchtem Solarstrom aber durchaus bis zu 90 % betragen.

Betriebe, die ein Zeichen für den Klimaschutz setzen wollen, können dies gut sichtbar direkt an ihrem Standort tun. Solche Maßnahmen lassen sich übrigens auch in *Umweltproduktdeklarationen* der hergestellten Produkte oder Dienstleistungen einrechnen, was angesichts zunehmenden KundInnenbewusstseins zu *Image- und Wettbewerbsvorteil*en führen kann.

Als wichtiger Punkt muss jedoch bei der Planung beachtet werden, dass eine Eigenverbrauchsanlage *momentan in Österreich keine Förderung* von der OEM-AG (Abwicklungsstelle für Ökostrom) erhält. Aufgrund der sinkenden Anlagenpreise ist jedoch die Investition in eine PV-Anlage ohne Förderung auch heute schon eine mögliche Alternative. Betriebe, die eine Anlage zwischen 5 kW_p und 20 kW_p oder größer mit gefördertem Einspeisetarif errichten wollen, sollten sich allerdings möglichst bald dafür anmelden. Fördermittel stehen nur in begrenztem Umfang zur Verfügung und alle eingehenden Anträge werden entsprechend ihrem Datum gereiht bearbeitet. *Alle notwendigen Informationen finden sich auf der Website der Photovoltaic Austria Federal Association unter www.pvaustria.at.*

Angesichts steigender Energiepreise, insbesondere wenn die wirtschaftliche Entwicklung wieder stärker anzieht, bietet der Einsatz einer PV-Anlage auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht Vorteile. Dies gilt sowohl für geförderte als auch ungeförderte Einspeisetarife. Das größte Risiko besteht im Moment darin, dass Photovoltaik auch ohne Förderungen rentabel wird, wie dies gerade in Spanien und Teilen Italiens geschieht. Die dadurch steigende Nachfrage nach PV-Anlagen wird deren Preise tendenziell steigen lassen.

Im Gegensatz zum Einsatz solarer Energie zum Kühlen, besteht bei der Photovoltaik ein teilweiser zeitlicher Versatz zwischen Erzeugung und Nutzung. Somit besteht Bedarf zur **Speicherung elektrischer Energie** zum späteren Einsatz. Der größte Forschungsbedarf bei Batteriesystemen liegt im Bereich der Speicherdichte, deren Erforschung den Platzbedarf sowie die Kosten von Batteriespeichern senken soll. Eine Schlüsselrolle bei der Entwicklung und Marktdurchdringung von Batteriespeichern dürfte schon in naher Zukunft der Elektromobilität zukommen. Hintergedanke ist, dass überschüssiger Strom (aus Wind und

Sonne) in geparkte Elektrofahrzeuge gespeichert wird und bei Bedarf aus diesen zu einem gewissen Teil auch wieder entnommen werden kann.

Auf dem Gebiet der Wasserstoffspeicherung gehört Österreich zu den Technologieführern. Überschussstrom wird zur Erzeugung von Wasserstoff verwendet, der wiederum bei Bedarf mittels einer Brennstoffzelle zur Stromerzeugung herangezogen wird.

Bauwerkintegrierte Photovoltaik (building integrated photovoltaics, BIPV) konnte sich bisher nur in Ländern durchsetzen, in denen sie durch gesonderte Behandlung in den Förderungen finanzielle Anreize bietet. Ursprünglich sollten dadurch zusätzliche Kosten, die bei der integrierten Bauweise entstehen, gedeckt werden. Im Neubau entfallen jedoch diese zusätzlichen Kosten, wenn die Anlage von Anfang an in der Planung Eingang findet und andere Baustoffe und Bauteile substituiert werden können.

Es zeichnet sich ab, dass die BIPV auch international vor dem Durchbruch steht. Aufgrund der *ständig fallenden Modulpreise* der letzten Jahre steigt der Kostenanteil der Montage und der Unterkonstruktion an den Systemkosten ständig an. Da die Montage von Aufdachanlagen bisweilen sehr aufwändig und die Unterkonstruktion sehr materialintensiv ist, können BIPV–Anlagen heute schon ökonomische Vorteile bieten.

Aus technischer Sicht liegt die *Zukunft der Photovoltaik in der Gebäudeintegration*. Durch Synergie- und Einsparungseffekte können die vielfältigen Möglichkeiten von Photovoltaikbauteilen ideal ausgenutzt werden. Bei weiterhin sinkenden Systempreisen wird der Anteil der Unterkonstruktionskosten an den Gesamtkosten weiter steigen.

Schließlich können auch Fenster eingesetzt werden, die sich selbstständig an die Intensität der solaren Bestrahlungsstärke anpassen können und so einen Beitrag für ein angenehmes Wohnklima leisten.

Koordination:
Dipl. Forstw. Peter Linsenmann (HFA)

AutorInnen:
DI Dr. Gerald Steinmaurer (ASiC)
DI (FH) Dr. René Eckmann (BTI)
DI (FH) Stefan Nagl (HFA)
DI Angelika Rubick (ofi)

LITERATUR

1 Austrian Council, 2009: FTI Strategie 2020 des Rats für Forschung und Technologieentwicklung, Wien, 2009
2 http://www.energiepflanzen.info/pflanzen/
3 A. Rubick, Bioupgrade Brennstoffzentrum 2010
4 Sitzmann 2009, Nielsen 2009 (Zerkleinerung); Stahel R. 2009: Niedertemperaturtrocknung von Ausgangsmaterialien. Tagungsband Industrieforum Pellets 2009, Stuttgart 70–75
5 Holzforschung Austria, Österreichisches Forschungsinstitut, Versuchs- und Forschungsanstalt der Hafner
6 ACB GmbH bestehend aus Andritz AG, der Polytechnik Feuerungsanlagen GmbH und Wild&Partner unter der wissenschaftlichen Leitung des Österreichischen Forschungsinstitut für Chemie und Technik
7 Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings
8 J. Brandt, Windhager Zentralheizung Technik GmbH „Der kleinste Pelletskessel der Welt", 11. Industrieforum Pellets, Stuttgart 2011
9 M. Staudinger, Calimax Energietechnik GmbH, Inkrementelle Weiterentwicklung und radikale Neuentwicklung eines 6 kW Zimmerkessels zu einem neuen Stand der Technik", 11. Industrieforum Pellets, Stuttgart 2011
10 Internationale Energieagentur IEA, Programme "Solar Heating and Cooling": „Solar Heating Wordwide." 2010
11 Quelle: IEA – PVPS, Trends in photovoltaic applications, Report IEA – PVPS T1-19:2010
12 Quelle: bmvit, Innovative Energietechnologien in Österreich, Marktentwicklung 2010, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 26/2011.

3

LEBENSMITTELQUALITÄT UND –SICHERHEIT

Im Lebensmittelbereich zählt für KonsumentInnen Natürlichkeit & Nachhaltigkeit. Beurteilt wird der Gesundheitswert, die Sicherheit, ob das Produkt stark verarbeitet ist oder ob es chemische Stoffe enthält.

EINLEITUNG

Die Fortschritte in der Technologie der Lebensmittelverarbeitung und -verpackung, sowie der Kulturtechnik und Kontrolle eröffnen neue Möglichkeiten für KMU in der Lebensmittelbranche und bieten großes Potenzial für die Weiterentwicklung von innovativen Verfahren und Produkten. LebensmittelproduzentInnen sind gefordert, die Entwicklungen am Markt und die Änderungen bei Rechtsnormen und Standardvorgaben im Auge zu behalten, um die steigenden Anforderungen an Lebensmittelqualität und -sicherheit zu erfüllen und Konsumtrends zu erkennen. Die Basis für technologische Innovationen in der Lebensmittelproduktion bilden neue Rezepte, Herstellverfahren und Verarbeitungsmethoden, alternative Konservierungstechnologien, neu entwickelte biologische Techniken, und aktuell die Nanotechnologie in Verarbeitung und Verpackung. Neuartige Materialien und Zutaten erlauben die Entwicklung innovativer Produkte bei Verpackungen und Lebensmitteln, wobei Nachhaltigkeit und neue Kombinationen bestimmende Trends sind. Die Komplexität der Anwendungsmöglichkeiten von Materialien und Methoden bringt einen hohen Weiterbildungsbedarf für das Personal und verfeinerte Kontrollmethoden für die Sicherung der Lebensmittelqualität mit sich.

Vor diesem Hintergrund sowie entlang der entsprechenden ACR-Expertise fokussiert das folgende Innovationsradar auf allgemeine technologische Trends in der Lebensmittelproduktion, Entwicklungen im Getreidebereich und neue innovative Verpackungstechnologien.

LEBENSMITTELPRODUKTION UND -PRODUKTE

In der Lebensmittelbranche folgen die aktuellen Trends dem KundInnenwunsch nach Natürlichkeit und Nachhaltigkeit bei gleichzeitigem Erhalt von Qualität und Convenience. Einer Umfrage des Deloitte-Institutes[1] von 2010 zufolge machen sich die KonsumentInnen bei Lebensmitteln hauptsächlich Gedanken über ihren Gesundheitswert, die Sicherheit, ob sie stark verarbeitet sind und ob sie chemische Stoffe enthalten. Die von KonsumentInnen eingeforderte Lebensmittelsicherheit steht auch im Fokus des Gesetzgebers und ist Gegenstand gesetzlicher Vorgaben und Standards. Die Lebensmittelwirtschaft muss nicht nur in der Lage sein, mit sich ändernden Rechtsvorschriften umzugehen („Lebensmittelinformationsverordnung"[2]), sondern steht auch wegen vergangener Lebensmittelinfektionen (EHEC-Ausbruch) unter hohem Druck. Dazu kommen Vorgaben von privaten Standards[3], die sich der Qualitätssicherung widmen. Es ist deshalb das Ziel der Weiterentwicklung der Technologien der Lebensmittelverarbeitung, die Lebensmittelsicherheit und -qualität zu steigern, wobei die Konsumtrends die Richtung vorgeben. Technologische Neuerungen betreffen sowohl die Verarbeitung als auch die Kontrolle der Lebensmittel – letzteres nicht nur bezüglich ihrer Qualität, sondern auch in puncto Herkunft.

TECHNOLOGISCHE TRENDS

Die **Haltbarmachung** von Frischeprodukten, also Lebensmitteln, die vor allem keine thermische Behandlung erfahren dürfen, ist ein von wissenschaftlicher Seite intensiv bearbeitetes Thema[4]. Um die auf den ersten Blick widersprüchlichen Themen *Convenience und Frische* auf einen Nenner zu bringen, wurden Technologien wie Kaltplasma-Desinfektion[5,6], Hochdruckpasteurisierung (High Pressure Pasteurization, HPP)[7], Behandlung mit UV-Licht-Impulsen und Strategien, die mit der Verwendung von Schutzkulturen funktionieren[8,9], entwickelt und kommen bereits in der Lebensmittelproduktion zum Einsatz. Intensive Forschung zum Thema Schutzkulturen wurde auf EU-Ebene[10] durchgeführt. Die wissenschaftliche Basis ist gelegt, *die Anwendung erfordert aber Fach-*

Bei immer mehr Lebensmitteln geht der Trend Richtung Herkunftskontrolle und lückenlose Rückverfolgbarkeit bis zum Ursprung.

personal und die KundInnenakzeptanz ist umstritten. Das Thema Schutzkulturen berührt unmittelbar die Methoden zur Haltbarmachung von Lebensmitteln, da ihr Einsatz eine völlig andere Strategie als die üblicherweise keimvermeidenden und keimabtötenden Methoden darstellt. HPP, Kaltplasma-Desinfektion oder UV-Lichtimpulse verfolgen eine grundsätzlich anderen Ansatz und sind in der Anwendung völlig verschieden. Während HPP und Kaltplasma in Europa noch vergleichsweise selten angewendet werden, gibt es in den USA bereits auf diesem Gebiet aktive FeinkostherstellerInnen und Verleiher von passendem Equipment. Die größte Hürde für die Einführung dieser Technologien sind *der apparative Aufwand und die damit verbundenen Kosten*. Auf der anderen Seite steht eine *Reihe von Vorteilen*. Dazu zählen die Schonung von Ressourcen, da die Methoden mit weniger Wasser und Energie auskommen als herkömmliche Techniken zur Haltbarmachung, und die hohe KundInnenakzeptanz, da das Produkt relativ unbehandelt wirkt und vor allem frei von Konservierungsmitteln ist (so genannte „clean label"). Der Vorteil, den HPP und Kaltplasma für die Produktion mit sich bringen, ist die *Senkung der Betriebskosten*, da diese Methoden wasser- und energiesparend sind. Für die Logistik und Lagerfähigkeit im Handel ergeben sich auch Vorteile, da die Haltbarkeit im Vergleich zu herkömmlichen Methoden deutlich länger ist. Haltbarkeitsverlängernde Maßnahmen haben von sich aus ein *Rationalisierungspotenzial* durch verbesserte Lagerungs- und damit einhergehenden Vermarktungsmöglichkeiten. Welche Methode für ein bestimmtes Lebensmittel oder eine vorgegebene Produktionskette geeignet ist, muss *im Einzelfall* geklärt werden. Die Entscheidung für eine Methode zieht *weitreichende Konsequenzen* nach sich. Apparative Ausrüstung und Arbeitsweise ändern sich unter Umständen grundlegend, ebenso muss der Schulungsgrad der MitarbeiterInnen angepasst und eventuell Fachpersonal hinzugezogen werden.

Die Sicherung der Qualität eines Lebensmittels ist unter zwei Aspekten zu betrachten. Einerseits bezogen auf die Herstellpraxis, andererseits im Hinblick auf die Rezeption bei KonsumentInnen. Von zunehmender Wichtigkeit werden in diesem Zusammenhang die Herkunftskontrolle und die Rückverfolgbarkeit sowohl für die Qualitätssicherung als auch für die Lebensmittelsicherheit. Für eine funktionierende **Qualitätssicherung im Herstellungsprozess** gibt es Neuerungen bei den Mitteln der Kontrolle. Das sind *schnellere und aussagekräftigere Nachweisverfahren, leistungsfähigere Systeme für die Rückverfolgbarkeit* (z. B. RFID). Im Falle von Reklamationen spielt ein gutes System für Rückverfolgbarkeit eine wichtige Rolle. Können die beanstandeten Produktchargen genau eingegrenzt werden, können unter Umständen weniger Produkte zurückgerufen werden. *Dies spart Kosten und hält auch den Imageschaden in überschaubaren Grenzen*. Die Sicherheit, die eine verlässliche Rückverfolgbarkeit mit sich bringt, lässt sich auch in gesteigertem KundInnenvertrauen und damit verbundener Umsatzsicherheit messen. Nach dem Vorbild des bereits bestehenden Systems für die Kennzeichnung von Rindfleisch geht der Trend auch bei anderen Lebensmitteln *hin zur Herkunftskontrolle und lückenlosen Rückverfolgbarkeit bis „zum Ursprung"*. Eine gesetzes- und regelkonforme Produktion von Lebensmitteln setzt ein großes Maß an organisatorischer Arbeit bezüglich Qualitätssicherung und Lebensmittelsicherheit voraus. Dies wird begleitet von einem Trend zur Ausweitung von Hygienemaßnahmen beim Personal und in der Produktion (Gute Hygienepraxis, HACCP, Hygienic Design). Allgemein müssen eine strikt hygienische Arbeitsweise und ein hygienisch einwandfreies Produktionsumfeld eingehalten und erhalten

FOTO: LVA

bleiben[11]. Die Grundlage dafür ist mit der Guten Hygienepraxis (GHP) beschrieben. Dies bedarf technischer Hilfsmittel (Hygienic Design) und vor allem auch intensiv geschulter und verantwortungsvoller MitarbeiterInnen.

Der Trend geht sowohl bei privaten Lebensmittelstandards[3] als auch vonseiten des Gesetzgebers in Richtung strengerer Auflagen und der Einführung einer möglichst *lückenlosen Rückverfolgbarkeit* der verarbeiteten Lebensmittel. Es ist für KMU von Bedeutung, *dass der Aufwand für die Erfassung und Dokumentation von Zutaten, Arbeitsschritten und Produkten in diesem Sinne weiter steigt*. Eine entsprechende apparative Ausrüstung mit Überwachungsgeräten, Technik für die Erfassung von Rohstoffen bis hin zu Produkten, technische Hilfen für die Leitung von Materialströmen und die Nutzung von Dokumentations-Software wird zusätzlich zum reinen Produktionsprozess die LebensmittelherstellerInnen beschäftigen. *Dadurch wird der Bedarf an geeigneter IT und fachlich geschultem Personal bzw. einem passenden Schulungsangebot steigen*.

Der Konsumtrend „Nachhaltigkeit und Natürlichkeit"[1] wird durch neu eingeführte Produktqualitäten beantwortet, die mit **Rezepturänderungen** einhergehen, die für die Unternehmen sehr herausfordernd sein können. Auf der einen Seite setzen solche Rezepturänderungen geänderte Verarbeitungsmethoden voraus, die durch Testproduktionen optimiert werden müssen. Auf der anderen Seite kann sich z. B. bei der Umstellung auf regionale Lebensmittel das Problem stellen, dass eine Zutat in passender Qualität und Menge zu den vorgegebenen Parametern nicht regional Verfügung steht. Zu den mikrobiologischen Innovationen zählt die Lenkung der Vergärung von Zucker weg von Alkohol hin zu Gluconsäure (z. B. „Bionade")[12]. Dies ermöglicht eine völlig neuartige Palette von alkoholfreien Erfrischungsgetränken. Der Cross-Over-Trend brachte Entwicklungen hervor wie z. B. essighaltige Fruchtgetränke, angereicherte Smoothies mit Joghurt, Smoothies mit Gemüse (Kürbis) und stärkehaltigen Zutaten (Haferflocken, Tapioca), die Funktionalität und Exotik verbinden. Das Interesse der KonsumentInnen für Exotik erweitert die Palette der Zutaten um Acerola, Acai-Beere, Noni-Frucht (Novel Food), Stevia-Extrakt (als Zutat), Goji-Beere etc. Diese „Super-Fruits" werden mit zahlreichen Gesundheitswirkungen in Verbindung gebracht, und so vermarktet. Getränke müssen auch nicht mehr klar und homogen sein. Stückige Produkte sind im Kommen und mit ihnen eine neue Herstellungstechnologie.

Für die Zielgruppe gesundheits- und ernährungsbewusster KonsumentInnen

finden sich neuartige Mischgetränke[13,14] aus Fruchtsaft und Tee auf dem Markt. Fermentierte Erfrischungsgetränke mit Gluconsäure oder probiotischen Milchsäurebakterien sprechen diese KonsumentInnenschicht an. Near-Water-Getränke gehören in die Sparte der funktionellen Getränke, und ihre *Palette wird laufend erweitert*. Pflanzenextrakte oder Mineralien werden ebenso eingesetzt wie Frequenzen[15], die dem Wasser eine bestimmte Schwingungsqualität verleihen sollen.

Aus rechtlichen Änderungen, wie derzeit die Zulassung von Stevia-Extrakt[16], ergibt sich ein neuer Handlungsspielraum, auf den LebensmittelherstellerInnen mit Tests zu reagieren haben (z. B. zur Verwendung des Extraktes in bestehenden Rezepturen bzw. Neuentwicklungen, die sich durch die Eigenschaften der neuen Zutat verwirklichen lassen).

Rezepturanpassungen sind nicht nur aufgrund der gestiegenen Rohstoffpreise ein aktuelles Thema. Einerseits geht es darum, die Qualität des eigenen Produktes zu sichern, andererseits, spezifische Ansprüche von bestimmten KonsumentInnengruppen zu erfüllen. Dazu gehören der Wunsch nach „ethischem" Konsum (Fair Trade), Nachhaltigkeit, Regionalität und das Bedürfnis nach angepassten Lebensmitteln für bestimmte Personengruppen (z. B. AllergikerInnen, SeniorInnen, aber auch die trendbewusste urbane Schicht).[1,17] Neue Zutaten, wie Farbstoffe natürlichen Ursprungs, Stärkeprodukte mit maßgeschneiderten Eigenschaften, Süßungsmittel, Essig in alkoholfreien Getränken u. ä. werden laufend von HerstellerInnen nachgefragt und von Entwicklungsabteilungen der Zulieferfirmen der Nahrungsmittelindustrie auf diversen Fachmessen vorgestellt.[18,19] *Rezepturanpassungen können Technologieänderungen nach sich ziehen*, wenn z. B. Mischvorgänge oder Zubereitungsschritte (Temperatur-Zeit-Profile) umgestellt werden müssen oder sich Volumina ändern (Süßungsmittel statt Zucker, Reduktion von Salz- oder Zuckergehalt). Eine besonders sorgfältige Vorgangsweise ist notwendig, wenn der ursprüngliche Charakter des Produktes unverändert bleiben soll. Ein Grund für Rezepturanpassungen ist die *Vermeidung „kritischer" Zutaten*. Dies kann sich auf die nachhaltige Wirtschaft beziehen, wie z. B. die Vermeidung von nicht zertifiziertem Palmöl oder Meerestiere nur aus zertifiziertem Fischfang. Ein anderes Ziel kann eine *positive Gesundheitswirkung* sein. Diese soll z. B. durch die Reduktion von Salz- oder Zuckergehalt erreicht werden, oder durch eine Anreicherung von Salz mit Eisen und Jod. Der Verzicht auf Farbstoffe und Färben mit Lebensmitteln spielt eine zunehmend größere Rolle, da der Konsumtrend zur Natürlichkeit dies vorgibt. Ebenfalls von Interesse ist es, ohne Konservierungsmittel auszukommen, *was zumeist einen tiefen Eingriff in die Herstellungstechnologie darstellt*, da geänderte Haltbarmachungsmethoden eingesetzt werden müssen.

Rezepturanpassungen sind auch notwendig, wenn ein Produkt auf eine bestimmte KundInnengruppe maßgeschneidert werden soll. Dazu zählt beispielsweise die Verwendung von Hydrokolloiden zusätzlich zu Mehl in Brot, um es für SeniorInnen besser konsumierbar zu machen. In diesem Fall muss auch technologisch auf die geänderte Zusammensetzung des Produktes reagiert werden.

Vor dem Hintergrund *steigender Rohstoffpreise* spielt die Einsparung von teuren Zutaten im Moment eine nicht unwesentliche Rolle (z. B. alternative Süßungsmittel zu Zucker). Für die Technologie der Herstellung kann auch dies einige Umstellungen erfordern. Die Rheologie der neuen Zutat, die Mischbarkeit, das Verhalten bei Temperaturwechseln, der Garprozess, die Gefrier-

Tau-Stabilität und weitere Parameter spielen dabei eine Rolle und ergeben ein *komplexes Problemfeld*.

Wenn Rezepturen verändert werden, ergeben sich für das betreffende KMU verschiedene Chancen. Der Ersatz von Zutaten mit dem Ziel *Rohstoffkosten* zu senken, wirkt sich positiv auf die Produktionskosten aus. Der Einsatz regionaler Zutaten eröffnet *Möglichkeiten im Marketing*, da die Auslobung „aus der Region" und die Verbindung zu nachhaltiger Produktion dem Trend entspricht und die Vertrauensbildung bei KonsumentInnen unterstützt. KMU können auch den Trend zu Gesundheit und Exotik nutzen und entsprechende Zutaten einsetzen und bewerben. Die steigenden Ansprüche der KonsumentInnen zeigen sich auch in maßgeschneiderten Produkten, die für Menschen mit Allergien (z.B. „free-from-Produktlinie") oder mit bestimmten altersbedingten Bedürfnissen (z.B. angereicherte Kinder-Produkte oder weiche Brote für ältere Menschen) entwickelt wurden und werden.

Der Erhalt der Lebensmittelsicherheit ist ein bestimmender Faktor für alle Eingriffe, die in einem Herstellungsprozess vorgenommen werden. Deshalb wird die Anwendung von **Nanotechnologie** in der Lebensmittelindustrie kontrovers diskutiert. KonsumentInnen stehen Nanomaterialien und Nanopartikeln in Lebensmitteln skeptisch gegenüber (Parallelen zur Gentechnik), obwohl es inzwischen eine Risikoeinschätzung und Sicherheitsbewertung[20] für Nanomaterialien gibt. Das Misstrauen gründet sich auch darauf, dass nicht erkennbar ist, in welchen Produkten Nanotechnologie steckt. Vielfältig stellen sich die Anwendungsmöglichkeiten der Nanotechnologie dar, allerdings sind sich hier die Experten über den Nutzen und die Risiken uneins. Im Lebensmittelbereich können nanopartikuläre Stoffe eingesetzt werden, um den Nährwert eines Produktes zu erhöhen, sie werden als Rieselhilfen in Salz und Brühen, zur Verkapselung von Wirkstoffen wie Konservierungsmitteln, Farbstoffen und Nährstoffen verwendet und um Lebensmittelverpackungen zu verbessern. Besonders interessant stellen sich die Nanoemulsionen dar, die wegen der minimalen Tröpfchengröße in der Emulsion klar erscheinen.[21]

Natürliche Nanomaterialien spielen schon jetzt eine bedeutende Rolle (z. B. Kristallstrukturen, Pektin bei Garen, Kollagen im Fleisch, kristalline Struktur von Stärke, Molkenproteinen und Caseinen). Synthetische (gezielt hergestellte) Nanomaterialien in Lebensmitteln werden laufend entwickelt. Eine Anwendungsmöglichkeit ist die Verkapselung (Einschluss von Wirkstoffen). Dadurch kann die Löslichkeit verbessert, eine kontrollierte Abgabe ermöglicht, die Bioverfügbarkeit erhöht und die Substanz vor Verfall geschützt werden. Verbesserte Löslichkeit und Bioverfügbarkeit, außerdem einen Gewinn an sensorischen Eigenschaften verspricht der Einsatz der Microfluidizer-Technologie. Damit lassen sich Nanoemulsionen herstellen, die sensorisch bei geringerem Fettgehalt überzeugen und außerdem klar sind. Einsatzbeispiele für Nanotechnologie im Lebensmittelbereich sind:

- Funktionelle Lebensmittel (Functional Food),
- Synthetisches nanopartikuläres Lycopin als Nahrungsergänzungsmittel und zur Anreicherung,
- Nanopartikuläres Beta-Carotin als Farbstoff bei der Getränkeherstellung,
- Nanopartikuläres Siliciumdioxid (SiO_2) als Würzmittel, Nahrungsergänzungsmittel, Kochsalz, Kochsalzersatz und als Trägerstoff von Emulgatoren, Farbstoffen und Aromen,
- Nanopartikuläres Titandioxid (TiO_2) als Lebensmittelfarbstoff,
- Zerkleinerung von Heilkräutern auf Nanogröße,
- Wasseraufbereitung mittels Nano-Membranen (in Entwicklung),

Der Einsatz von Nanotechnologie in der Lebensmittelproduktion wird von VerbraucherInnen und ExpertInnen kontroversiell diskutiert.

- Verbesserung von Frittieröl mittels nanokeramischer Filter,
- Entkoffeinierung von Kaffee (in Entwicklung),
- Antimikrobielle Nanobeschichtungen für Verpackungen und Kühlschränke (z. B. Silber, TiO_2, SiO_2, Nano-Ton),
- Sensoren mit Nanoschichten (Mikrobiologische Schnellmethoden),
- Nanoemulsionen in Getränken.

Wird der Einsatz von nanotechnologischen Verfahren und/oder Zutaten angedacht, ist *nicht nur die technologische Umsetzung zu bedenken*. Eine große Hürde ist die mangelnde Akzeptanz bei KonsumentInnen, ebenso wie die *nicht eindeutig geklärte rechtliche Situation*. Aktuell existieren zwar technische Beschreibungen der Nanotechnologie, jedoch keine Legaldefinition. Die zukünftige EU-Lebensmittelinformations-Verordnung (verabschiedet am 06.07.2011) wird die *besondere Kennzeichnung von bestimmten Nanomaterialien* als Lebensmittelzutaten sowie eine Definition derselben in das Lebensmittelrecht einführen. Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) hat im Mai 2011 einen Leitfaden veröffentlicht, der sich mit der Risikobewertung im Rahmen von Anträgen auf Zulassung von technisch hergestellten Nanomaterialien (engineered nanomaterials – ENM) zur Verwendung in Lebens- und Futtermitteln befasst. Der Leitfaden bezieht sich auf die Bewertung von Risiken im Rahmen von Anträgen im Lebens- und Futtermittelbereich, unter anderem für Lebensmittelzusatzstoffe, Enzyme, Aromastoffe, Lebensmittelkontaktmaterialien, Novel Food, Futtermittelzusatzstoffe und Pestizide. Der Leitfaden enthält Empfehlungen dazu, wie mit diesen Unsicherheiten bei den Risikobewertungen umzugehen ist. Da die Risikobewertung technisch hergestellter Nanomaterialien einem raschen Fortschritt unterliegt, wird der Leitfaden kontinuierlich überprüft und bei Bedarf überarbeitet.

NEU- UND WEITERENTWICKLUNG VON GETREIDE UND GETREIDEPRODUKTEN

Vor dem Hintergrund umwälzender demographischer und gesundheitspolitischer Veränderungen im Gesundheitsstatus der Gesellschaft, kommt der Entwicklung von innovativen getreidebasierten Lebensmitteln besondere Bedeutung zu. Es ist somit erforderlich, innovative Technologien im Kontext genussvoller, gesunder und sicherer Lebensmittel vom Rohstoff Getreide über Mehl bis hin zu Brot und Gebäck für die Betriebe bereitzustellen. Diesbezüglich stellen die neuen Technologien eine wesentliche Grundlage dar, um auf die Ansprüche gesunder und sicherer Lebensmittel in Zukunft besser eingehen zu können. Der Großteil der Betriebe am Getreidesektor leidet außerdem unter scharfem Preiswettbewerb. Der Entwicklung von innovativen Produkten zur Differenzierung am Markt kommt daher besondere Bedeutung zu.

TECHNOLOGISCHE TRENDS

Das Ziel der aktuellen Forschung für Mehlmischungen ist der Erhalt der wichtigen technologischen Qualitäten des Weizenmehls bei gleichzeitiger Einführung zusätzlicher positiver Effekte (z. B. Aroma, Frischhaltung) durch die Beimengungen.

In der Müllerei zeichnet sich ein Trend für sogenannte **Composite Flours** (zusammengesetzte bzw. gemischte Mehle)[22] ab. Zu Weizenmehl können als Mischungspartner etwa Mehle aus stärkereichen Knollen zugesetzt werden oder es kommen proteinreiche Mehle aus Soja und Erdnuss zum Einsatz. Weitere Möglichkeiten bieten der Zusatz von Cerealien wie Mais, Reis, Millet und Pseudocerealien wie Buchweizen und Amaranth oder Quinoa. Die Backfähigkeit der Mehlmischung

muss dabei sichergestellt bleiben, d. h. der Weizenmehlanteil darf einen bestimmten Prozentsatz nicht unterschreiten. Dies ist auch für die Wirtschaftlichkeit der Mehlmischung von Bedeutung. Der Einsatz von Mehlmischungen bietet die *Möglichkeit, sich am Markt markanter zu positionieren und von Mitbewerbern zu differenzieren*. Die Auswirkungen dieser Composite Flours bzw. der Einsatz von Mehlmischungen erweitert die Produktpalette für KMU, wodurch sich eine Sortimentserweiterung und somit auch eine Absatzsteigerung in Zukunft ergeben werden.

Des Weiteren zeichnet sich der Trend ab, verstärkt **Enzyme** zur Verbesserung der Mehlverarbeitungseigenschaften[23] einzusetzen, sowohl bei herkömmlichen Mehlen, als auch bei Mehlmischungen. Moderne Mehlbehandlung, mit Enzymen als zentraler Bestandteil, wird ein wichtiges Arbeitsfeld für die Branche der Müllerei und Bäckerei sein. *Durch neue Enzymsysteme sind KMU in der Lage, komplexe Aufgaben und Entwicklungen, die sich aus den Marktanforderungen ergeben, zu bewältigen*. Enzyme unterstützen den Fermentationsprozess, tragen zur Steigerung des Backvolumens bei, stabilisieren die Teigstrukturen, ermöglichen eine längere Frischhaltung und die Entwicklung von innovativen Convenience-Produkten. Die Anwendung von Enzymen ist in vielfältiger Weise möglich und erleichtert viele Arbeits- und Verfahrensschritte in Produktion und Logistik. Produkte von gleichmäßiger Qualität und der im Handel geforderten Stabilität werden außerdem durch den Einsatz von emulgatorhaltigen Formulierungen möglich[23]. Durch den Einsatz der Enzymtechnologie können ausgleichende Maßnahmen zur Qualitätssicherung und -steigerung gesetzt werden. Das heißt, durch den gezielten Einsatz von Enzymen können negative backtechnologische Eigenschaften wie z. B. das Trockenbacken von Weizen positiv beeinflusst werden, wodurch sich eine Qualitätssteigerung im Endprodukt ergibt. Bereits seit Jahrzehnten bekannt sind stärkeabbauende Enzyme wie alpha- und beta-Amylasen sowie die Eiweiß-spaltenden Proteasen. Sie werden bereits umfassend eingesetzt. *Enormes Potenzial der Mehlverbesserung bzw. Mehlanpassung* auf unterschiedlichste Anforderungen in der Verarbeitung besteht durch die ebenfalls natürlich vorkommenden Enzyme Hemicellulase, Xylanase und durch die Pentosanase[23]. Diese Enzyme und deren Wirksamkeit sind bereits seit zwei Jahrzehnten bekannt. *In Öster-*

Enzymen kommt durch die Entwicklung neuer Produkte und den verstärkten Einsatz von Teiglingen eine steigende Bedeutung zu.

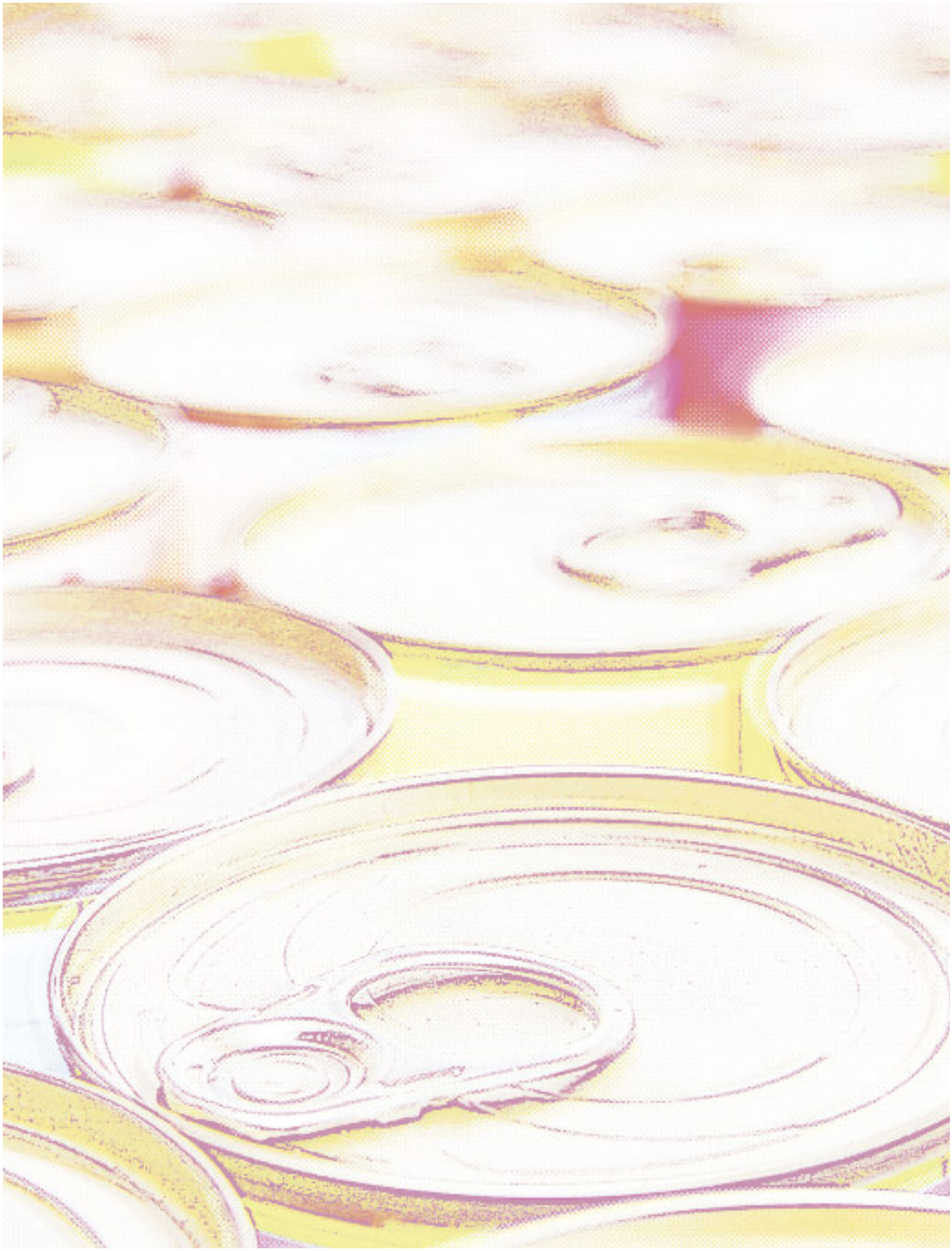
reich wird das Potenzial jedoch noch kaum genutzt. Das heißt, dass ein Großteil der Betriebe derzeit nicht über die Einsatzmöglichkeiten von Enzympräparaten verfügt. Durch das Aktivwerden innerhalb dieses technologischen Bereiches ergeben sich viele Möglichkeiten zur Entwicklung von innovativen Produkten. Durch die Entwicklung neuer Produkte und den verstärkten Einsatz von Teiglingen kommt diesen Wirkstoffen in den nächsten Jahren steigende Bedeutung zu.

Klein strukturierte Bäckerei- und Müllereibetriebe stehen oft vor individuellen Problemen, die im Einzelfall gelöst werden müssen. Für die Beurteilung der Mehlqualität ist das *Know-how über die Enzymatik für MüllerInnen und BäckerInnen von großer Bedeutung*. In diesem Zusammenhang spielt die **Teigrheologie** eine große Rolle, mit deren Hilfe die Eigenart regionaler Gebäcke analysiert und charakterisiert werden kann, um in weiterer Folge mit geänderten Produktions- und Backprozessen darauf reagieren zu können. Es gilt viele Eigenheiten des Herstellungsprozesses in Betracht zu ziehen, z. B. erfordert die intensive maschinelle Knet-Beanspruchung eine andere Mehlbehandlung als das Kneten des Teiges von Hand.

In der **Mehlanalytik** zeigt sich verstärkt die Nachfrage nach Analysen mit dem Alveogramm, mit dessen Hilfe die Auswirkungen von Proteasen, Lipasen und Transglutaminasen analysiert werden können. Die Teigrheologie, also das Verformungs- und Fließverhalten von Teigen, ist eine Grundlage für die Ausnutzung von neuen Möglichkeiten und Chancen in der Verarbeitung von Getreideprodukten[23]. Auf Basis der Teigrheologie ist die *Entwicklung von neuen und innovativen Produkten* möglich (z. B. Einkornweckerl, Sojaspitz, Bergsteigersemmel), wozu allerdings auch die Erfahrung und das Know-how im Umgang mit den entsprechenden Analysemethoden aufgebaut werden muss. In diesem Zusammenhang wird in der Produktentwicklung der praktische Backversuch in Verbindung mit der Teigrheologie weiterhin an Bedeutung gewinnen.

Die **Nah-Infrarot-Spektroskopie** (Nah-Infrarot-Reflexions- und Transmissions-Technologie NIR/NIT-Technik) hat bei der Untersuchung von Getreide, Mehl und Schrot und Ölsaaten einen festen Platz eingenommen[24]. Die Vorteile der Nah-Infrarot-Spektroskopie als Schnellmethode hat sich vor allem der Getreidehandel zu Nutze gemacht. Mit Hilfe von NIR- bzw. NIT-Geräten werden *qualitative Beurteilungen und eine flächendeckende, schnelle Untersuchung von Getreide und Getreideprodukten* möglich. Das Ziel der aktuellen Forschung im Bereich Nah-Infrarot-Reflexions- und Transmissions-Technologie ist der Ausbau der Qualitätsanalytik für Getreide und Mehl im Fokus der teigrheologischen Eigenschaften von Mahl- und Schälprodukten. Die Spektroskopieverfahren sind kalibrationsabhängig, d. h. Berechnungen werden mit Referenzwerten verglichen. Aus diesem Grunde verbessert sich die Kalibrierung mit der Zeit. *Nachteile* dieser Technologie bestehen bei Verwendung neuer Getreidesorten oder (etwa aufgrund von extremen Witterungsschwankungen) stark andersartiger Proben. Bereits *sehr zuverlässige Ergebnisse für die Qualitätssicherung* mittels NIR-Technologie können bei folgenden Parametern erzielt werden:

- Produktfeuchtigkeit sowohl bei Getreide als auch bei Mehlen und Schroten,
- Rohproteingehalt (Getreide und Mehlen),
- Mineralstoffgehalt bei Mehlen (Basis für die Typenregelung der Mehle gemäß Codexkapitel B20 Mahl- und Schälprodukte)[25],
- Klebermenge (Glutengehalt),
- Sedimentationsgehalt (Glutenqualität),
- Kornhärte und
- Fett-/Ölgehalt.



Um schnelle Entscheidungen über die Lagerung und Trennung von Partien mit unterschiedlichen Qualitäten treffen zu können, wird intensiv an den Kalibrierungen der noch unsicheren Qualitätsermittlung in unterschiedlichen Bereichen gearbeitet. Es gibt bereits Entwicklungsfortschritte im Bereich Gelbpigmentmessung in Durum Weizen, wobei diese Kalibrierung *noch nicht am Markt* verfügbar ist. Die NIR-Technologie wird außerdem für einen Einsatz zur Qualitätsüberprüfung von Mehlen weiterentwickelt. Dies bedeutet für die KMU, dass der Einsatz der Nah-Infrarot-Reflexions- und Transmissions-Technologie zur Schnellbestimmung der Qualität in den Bereichen Feuchtigkeit, Rohprotein, Mineralstoffgehalt, Klebergehalt, Sedimentationswert, Kornhärte und Fett-/Ölgehalt bereits zuverlässige Ergebnisse liefert. Sollte sich die NIR-Technologie auch in der Teigrheologie durchsetzen, könnten KMU in Qualitätssicherung und -analyse *enorme Kosten- und vor allem Zeiteinsparungen* realisieren.

In der **Getreidezüchtung** und in der Kulturtechnik ist das Ziel, auf die sich rasch veränderten Qualitätsansprüche der unterschiedlichen getreidebasierten Verarbeitungsprodukte reagieren zu können. Dies ist im Fokus der herkömmlichen Getreidezüchtung sehr schwierig umzusetzen, da die Entwicklung neuer Sorten mit neuen Qualitätseigenschaften Jahre in Anspruch nimmt. Neue Kulturtechniken setzen Akzente zur Verbesserung der Ertragssicherheit und der Produktqualität nicht nur im biologischen sondern auch im konventionellen Bereich. In der Getreidezüchtung geht der Trend eindeutig zur massiven *Beschleunigung* der Züchtungserfolge. Eine *Erhöhung des Kornertrages und die Verbesserung der Weizenqualität* sind oberste Ziele im Hinblick auf die Deckung des steigenden Bedarfs. In der Kulturtechnik werden verstärkt *bioaktive Substanzen* zur Verbesserung des symbiotischen Zyklus genutzt, allerdings bislang nur im biologischen Landbau. Da dort Qualitäts- und Ertragssteigerungen erzielt werden konnten, sind derartige Pflanzenhilfsmittel wie z. B. Vitazyme nun auch für die konventionelle Landwirtschaft von Interesse[26], weil KMU auch im konventionellen Bereich mit *höheren Deckungsbeiträgen* aufgrund von Qualitäts- und Ertragssteigerungen rechnen können. Der aktuelle internationale Trend geht in Richtung phänotypischer Selektionsprogramme durch die Entwicklung einer genomischen Selektionsstrategie. Die Genomische Selektion (GS) *revolutioniert* derzeit die Nutztierzüchtung sowie die Züchtung von Feldfrüchten.[27,28,29] Das Ziel der genomischen Selektion am Getreidesektor ist es, robuste, ertragreiche Brot- und Durumweizensorten zu entwickeln, welche die agronomischen Anforderungen der LandwirtInnen in den Zielregionen genauso erfüllen wie die Anforderungen der MüllerInnen, der Teigwarenindustrie und der KonsumentInnen. *Diese Technologie dient somit der ganzen Wertschöpfungskette*. In aktuellen Forschungsprojekten wird Genmaterial aus einem bestehenden Genpool auf molekularer Ebene „genotypisiert", wozu ein neuer SNP-Chip (Single Nucleotide Polymorphism) verwendet wird. Alternativ wird die Diversity Array Technology (DArT) genutzt. Die Genotypisierung wird nicht nur für die Entwicklung eines neuen genomischen Selektionsverfahrens verwendet, sondern kann gleichzeitig auch der Bewahrung der genetischen *Diversität*, dem *Schutz des geistigen Eigentums* und der *Kontrolle der Saatgutreinheit* dienen. Im Rahmen dieser Technologieentwicklung werden wissenschaftliche Erkenntnisse auf dem Gebiet der Weizenzüchtung im allgemeinen, sowie im speziellen über die Leistungsfähigkeit und Limitierungen der Genomischen Selektion im Hinblick auf ihre praktische Anwendung bei Weizen forciert. Durch diese neuen Technologien ergeben sich für die Produktions- und Verarbeitungsbetriebe *höhere Deckungsbeiträge mit verbesserter und*

sicherer Produktqualität. Zudem stehen durch das neue Selektionsverfahren schneller angepasste und qualitäts- und ertragssichere Sorten für die Verarbeitung zur Verfügung. Auch auf mögliche klimatische Veränderungen (Trockenheit/Temperaturanstieg) kann damit schneller und gezielter reagierte werden sodass die Leistungsfähigkeit im Hinblick auf Produktqualität und Produktsicherheit nachhaltig erhalten bleibt.

Für das Vertrauen der KonsumentInnen sind insbesondere im biologischen Sektor die Produktsicherheit und die damit zusammenhängende **Herkunftssicherheit** von besonderer Bedeutung. Ein enges Kontrollsystem stellt die Grundlage für die Nachvollziehbarkeit des Produktionssystems dar. Darüber hinaus sind spezifische Produktprüfungen zur Absicherung des Kontrollsystems erforderlich. Neben der indirekten Methode zur Bestimmung der Herkunft (Pestizidrückstandsanalysen) sind weitere, ganzheitliche Methoden zur Detektion des Produktionsverfahrens in Entwicklung. Mit herkömmlichen analytischen Methoden (Pestizidanalysen) ist jedoch keine Unterscheidung zwischen biologischem und konventionellem Anbau bzw. Kulturmaßnahmen möglich. *Zur Sicherheit für VerarbeiterInnen und KonsumentInnen sind hier innovative Verfahren besonders gefragt.* Ganzheitliche Methoden zur Erkennung der Herkunft[30] werden in den bildschaffenden Methoden zusammengefasst:

- Kupferchloridkristallisation,
- Steigbild und
- Rundfilterchromatogramm.

Über ein Rechenmodell werden ermittelte Indikatoren für biologischen Anbau oder konventionelle Kultivierung ausgewertet und klassifiziert in:

- typisch biologisch,
- neutral bzw. nicht klar zuordenbar,
- das Produkt stammt aus konventioneller Produktion.

Der Nutzen liegt darin, im Zuge von Qualitätsuntersuchungen zusätzlich auch Auskunft über die Herkunft des Grundproduktes zu erhalten.

(KUNSTSTOFF-)LEBENSMITTELVERPACKUNGEN

Lebensmittelverpackungen müssen heute auf Grund bestehender gesetzlicher und/oder normativer Rahmenbedingungen, spezifischer Anforderungen im Bereich der Transportlogistik, des Vertriebs und des Marketings sowie nicht zuletzt in Bezug auf die Erwartungshaltung der KonsumentInnen eine Vielzahl an Funktionen bzw. Anforderungen erfüllen. Typische Aspekte sind in diesem Zusammenhang u. a.:

- Produktschutz (insbes. Sicherstellung der Mindesthaltbarkeitsdaten der verpackten Füllgüter):
  - Schutz vor Feuchtigkeitseintrag und/oder -verlust
  - Schutz vor Aromaverlust und/oder Aufnahme von Fremdgerüchen
  - Schutz vor Lichteinwirkung
  - Schutz vor Einwirkung von Luftsauerstoff
  - Sicherstellung der Produkthygiene
- Anforderungen im Bereich Abfüllung, Transport und Vertrieb:
  - rechtliche Rahmenbedingungen bezüglich der im direkten Lebensmittelkontakt stehenden Verpackungsmaterialien
  - Füllgut-spezifische Anforderungen bei der Abfüllung (Heißabfüllung, Sterilisation etc.)
  - Schutz vor mechanischen Einwirkungen
  - Minimierung von Transport- und Lagerkosten durch optimales Handling von Wareneinheiten (z. B. Stapelbarkeit)
  - Träger von Produktinformation
- Erwartungen seitens der KonsumentInnen:
  - konsumgerechte Verpackungsgrößen

- Produktinformation
- Convenience
- umweltschonende Herstellung und Entsorgung

Aktuelle innovative Verpackungskonzepte tragen oft mehreren dieser Punkte Rechnung. Insgesamt lassen sich vor allem die folgenden wichtigen Entwicklungen und Trends erkennen.

TECHNOLOGISCHE TRENDS

Die hier dargestellten technologischen Entwicklungen im Kunststoffverpackungsbereich sind im Wesentlichen durch das Stichwort *„Minimierung"* geprägt, um den Ansprüchen der Nachhaltigkeit bzw. der Sicherheit gerecht zu werden. Der Trend von migrationsarmen Verpackungsmaterialien aus Kunststoff liegt darin begründet, dass aufgrund steigender Qualitätsanforderungen (z. B. IFS – International Food Standard) der Markt nach geeigneten Verpackungsmaterialien sucht. Auch aufgrund diverser negativer Schlagzeilen rückt diese Thematik ins öffentliche Interesse. Hinsichtlich der Nachhaltigkeit wird neben dem Einsatz von Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen der Fokus vermehrt auf Materialreduktion gelegt, da sich *ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit* hier sehr gut kombinieren lassen.

In den letzten Jahren hat die Erforschung und Bewertung von Stofftransportvorgängen (Migration) aus Lebensmittelverpackungen in die darin befindlichen Lebensmittel hohe Aktualität erfahren. Einerseits ist das Sicherheitsdenken gestiegen, auf der anderen Seite kann man mit hochsensitiven Analysenverfahren immer häufiger Stoffübergänge nachweisen. Diese waren bis dahin noch unbekannt und sind aus Sicht des Gesetzgebers (z.B. LMSVG Verordnung (EG) Nr. 1935/2004) auch unerwünscht: Mehrfach haben in diesem Zusammenhang einzelne Substanzgruppen (Acetaldehyd, ITX, Semicarbazid, PFOS/PFOA, Mineralöl, Bisphenol A etc.) Schlagzeilen gemacht – begleitet von umfangreichen Analysenprogrammen und darauf basierenden Empfehlungen bezüglich maximal zulässiger Konzentrationen.[31,32]

Speziell Verpackungen aus **organischen Werkstoffen** wie Papier,

Der Einsatz von migrationsarmen Verpackungsbestandteilen hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen.

Karton oder Kunststoff sind *grundsätzlich nicht als inert* (untätig) anzusehen und können einzelne Inhaltstoffe (z. B. Verarbeitungshilfsmittel, Restmonomere, Additive) an angrenzende Lebensmittel abgeben. Die festgestellten Konzentrationen dieser im verpackten Lebensmittel unerwünschten Komponenten variieren oft in weiten Bereichen und hängen in starkem Ausmaß von der Art des Verpackungsmaterials und des Lebensmittels sowie von Abfüll- und Lager- bzw. Kontaktbedingungen ab.[33] Wegen der niedrigen Konzentrationen haben die genannten Komponenten meist *keine unmittelbar akut toxikologische Relevanz*, können jedoch zu Beanstandungen wegen geruchlicher und/oder geschmacklicher Veränderung der Lebensmittel führen bzw. – wie z. B. im Fall der so genannte Xenohormone (s. u.) – zur massiven *Verunsicherung von VerbraucherInnen* führen.

Speziell im Bereich der **Kunststoffverpackungen** wurde aus diesem Grund in den letzten Jahren der Entwicklung neuer, migrationsarmer Verpackungsmaterialien sehr hohes Augenmerk geschenkt. Die Neuentwicklungen basierten dabei sehr häufig auf einem oder mehreren der nachfolgenden Konzepte: [34,35]

- Einsatz höhermolekularer Polymertypen mit geringem Restmonomergehalt sowie definierter, meist relativ enger Molekulargewichtsverteilung (Stichwort: Metallocen-Katalyse);
- Substitution und/oder Modifikation von Additiven (Reduktion der Additiv-Migration durch bessere Einbindung in die Polymermatrix z. B. auf Basis gezielter chemischer Modifikation) und/oder durch den Einsatz von Additiven mit höherem Molekulargewicht (und somit geringerer Migrationsneigung);
- Einsatz von Barriereschichten (aus produktionstechnischen Gründen ist es oftmals einfacher, so genannte Migrationsbarrieren einzusetzen, die aus organischen oder anorganischen Materialien bestehen können).

Konkrete Marktzahlen über die Nachfrageentwicklung sind für migrationsarme Verpackungsmaterialien derzeit nicht verfügbar. Wenn man jedoch ausgewählte Teilbereiche der gesamten Verpackungssparte wie z.B. die Druck- und Lackindustrie näher betrachtet, so erkennt man, dass der Einsatz von migrationsarmen Verpackungsbestandteilen (z. B. Druckfarben, Lacke) seit 2005 deutlich zugenommen hat.[36]

Ungeachtet der angeführten Trends bzw. Lösungsmöglichkeiten ist in diesem Zusammenhang speziell bei Rollenware bzw. genesteten/gestapelten Verpackungstypen dem Phänomen des „Abklatsches" – also der Stoffübertragung von der (z. B. bedruckten) Außenseite auf die Innenseite der Verpackung während der Lagerung der Packmittel – ausreichendes Augenmerk zu widmen: Wenngleich aus theoretischen Überlegungen schon länger bekannt, wird diesem Effekt in der Praxis nach wie vor *oft nur ungenügend Aufmerksamkeit* geschenkt (u.a. wegen des Fehlens einfacher standardisierter Untersuchungsmethoden). Gleichzeitig ist jedoch zu bedenken, dass zumindest für bedruckte Lebensmittel-Verpackungsmaterialien allgemeine diesbezügliche Anforderungen bereits auf europäischer Ebene (in der so genannten GMP-Verordnung Nr. 2023/2006) festgelegt wurden. Die Entdeckung von Mineralöl-Rückständen (zunächst unbekannter Herkunft) in Lebensmitteln zählte ebenfalls zu den Auslösern für die Neukonzeptionierung **migrationsarmer Verpackungssysteme**: Seit bekannt ist, dass diese Mineralölreste in vielen Fällen mit dem Rezyklatanteil von Verpackungskartons in Zusammenhang stehen, werden kartonhaltige Verpackungen verstärkt aus 100 % Frischfasern gefertigt.

Eine völlig neue Dimension in Bezug auf migrationsarme Verpackungsmaterialien wurde zuletzt durch den

Der Schlüssel zu einer wirtschaftlichen und ökologischen Verpackung liegt im Verbrauch von weniger Material.

Wunsch nach Xenohormon-freien Verpackungsmaterialien eröffnet: Die damit angesprochenen Inhaltsstoffe mit hormonähnlicher Wirkung (endocrine disruptors) können teilweise schon in geringsten, mit rein analytischen Methoden kaum mehr nachzuweisenden, Spurenkonzentrationen wirksam werden und sind derzeit weltweit *Gegenstand umfangreicher Forschungsprogramme*. Um das mögliche Gefährdungspotenzial derartiger Inhaltsstoffe (z. B. Bisphenol A) überhaupt beurteilen zu können, wurden zellbiologische Testverfahren (so genannte Bioassays) auf Basis von Hefe- bzw. Humanzellkulturen entwickelt. Die Anwendung derartiger Screening-Verfahren auf Verpackungsmaterialien erlaubt inzwischen die grundsätzliche Ermittlung der Hormonaktivität von Produkten, die dabei erzielten Beurteilungsergebnisse (positiv/ negativ) sind jedoch teilweise noch vom jeweils angewandten Testverfahren abhängig und lassen zum gegenwärtigen Zeitpunkt auch noch keine Rückschlüsse auf die tatsächliche Ursache für die Hormonaktivität zu. Außerdem sind Untersuchungsmöglichkeiten bis dato noch auf einige wenige Hormone (fast ausschließlich Östrogen) beschränkt.[37]

Eine Optimierung des Materialeinsatzes bei Lebensmittelverpackungen wird seitens der Gesetzgebung in der Verpackungsverordnung gefordert. Verpackungsminimierung ist eine Entwicklung, welche sich schon seit Jahrzehnten herauskristallisiert hat. Bei Verpackungen stellt das Material in den meisten Fällen *einen essentiellen Kostenfaktor* dar. Durch die stark gestiegenen *Rohstoffpreise* hat sich das Kostenbewusstsein nochmals geschärft. Deshalb liegt der Schlüssel zu einer wirtschaftlicheren und zugleich ökologischeren Verpackung im Verbrauch von weniger Material.[38] Die Vielzahl der Neuerung macht es schwierig, allgemein gültige Trends abzuleiten, weshalb sich das vorliegende Innovationsradar mit den allgemeinen Vorteilen der Verpackungsminimierung beschäftigt.

Nach beachtenswerten Gewichtseinsparungen sind derzeit teilweise *Verfahrensinnovationen erforderlich* geworden. Sowohl durch Umgestaltung des Behälterdesigns mithilfe von Softwareprogrammen, durch die Kombination von Werkstoffen als auch durch Änderungen im Herstellprozess kann eine signifikante **Materialreduktion** erreicht werden. Um das volle Ausschöpfungspotenzial zu erreichen, gilt es bereits zu Beginn des Designprozesses den gesamten *Lebenszyklus* der Verpackung (von der Herstellung bis zur Entsorgung) mit allen limitierenden Faktoren abzuklären. Inkludiert ist dabei *die Vereinbarkeit von KundInnenakzeptanz für einen Leichtbehälter mit dem VerbraucherInnenwunsch nach Convenience*. Verpackungsminimierung bringt *sowohl ökonomische als auch ökologische Vorteile*. Diese erstrecken sich von der Beschaffung der Rohstoffe über die Herstellung der Verpackung bis hin zur Logistik und Entsorgung. *Durch einen geringen Rohstoffeinsatz werden nicht erneuerbare Ressourcen geschont und Beschaffungskosten gesenkt*. Besonders bei Massenprodukten ist dies zusätzlich mit Kosteneinsparungen verbunden. Auch wenn die Verpackungsminimierung zum Alltagsproblem in der Verpackungsbranche gehört, besteht in vielen Firmen noch *erhebliches Potenzial hinsichtlich der Vereinheitlichung von Verpackungsgrößen oder der Reduktion an Material bei Überverpackungen*. Der Vorteil für KMU liegt vor allem darin, dass eigene Ideen *relativ schnell realisiert* werden können. Sie können dabei helfen, dass Materialkosten langfristig eingespart werden. Als konkrete Beispiele in diesem Zusammenhang ist die Materialreduktion von Kunststoffverschlüssen um ca. 10 % zu nennen. An der 2l PET-Flasche eines bedeutenden Softdrink-Herstellers konnte eine Gewichtsoptimierung von 42 auf 40 g, gleichbedeu-

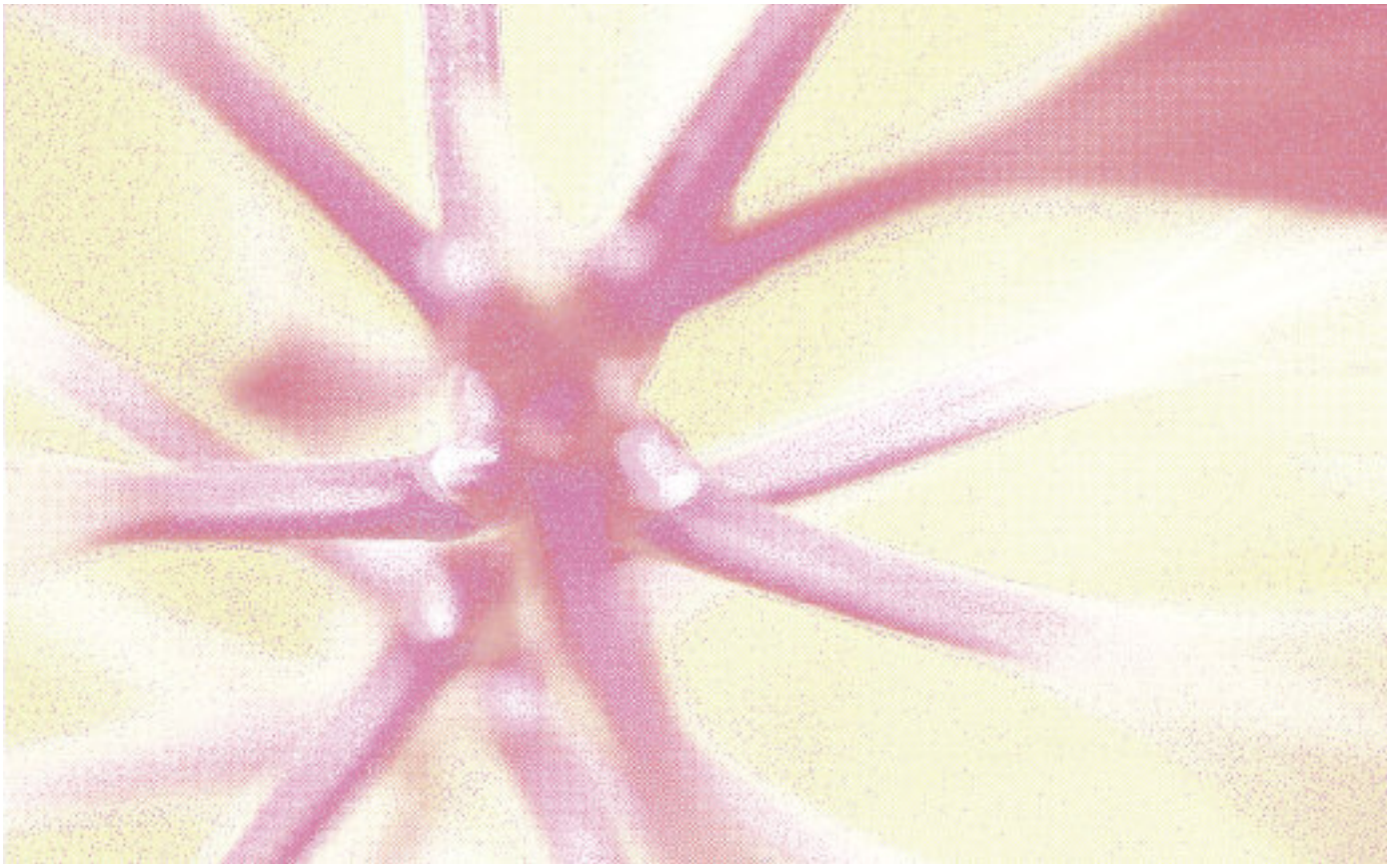
tend einer Materialersparnis von 4,8%, erzielt werden.[39]

Bereits in den frühen 1980er Jahren präsentierte man erstmals so genannte biologisch abbaubare Kunststofffolien am Markt, auch wenn diese den heute allgemein anerkannten Kriterien von **Biokunststoffe**n (s. u.) nicht entsprochen haben: Gemäß einer heute in weiten Kreisen anerkannten Definition des Dachverbandes European Bioplastics[40] versteht man unter Biokunststoffen:

- Kunststoffe, die auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen erzeugt werden (so genannte bio-basierte Kunststoffe) und/oder
- Kunststoffe, die alle Kriterien zum Nachweis der biologischen Abbaubarkeit und Kompostierbarkeit erfüllen (so genannte bioabbaubare Kunststoffe). Speziell in Europa wird der Nachweis der biologischen Abbaubarkeit dabei meist auf Basis der EN 13432 erbracht.

Obwohl mit rund 0,2% des Gesamtkunststoffmarktes derzeit nach wie vor eine Nischenanwendung, *wächst der weltweite Markt für Biokunststoffe jährlich zwischen 15–20%*. Diese hohen Wachstumsraten basieren einerseits auf einem steigenden Umweltbewusstsein der KundInnen, andererseits auf deutlichen Preissteigerungen bei Rohstoffen aus fossilen Quellen. Während zunächst primär bioabbaubare Produkte den Markt erobert haben, ist in letzter Zeit eine deutliche Forcierung von Produkten auf Basis von **nachwachsenden Rohstoffen** zu erkennen.[41,42] Im Bereich innovativer Lebensmittelverpackungen lassen sich in diesem Zusammenhang insbesondere folgende Konzepte erkennen:

- Im Rahmen der Erhöhung des Anteils an nachwachsenden Rohstoffen im Fertigprodukt wird konventioneller Kunststoff mit Füllstoffen auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen versetzt – meist handelt es sich dabei um Stärke, Cellulose und/oder Cellulose-Derivate. Die Modifikation führt zu einer Reduktion des fossilen (nicht erneuerbaren) Anteils der Verpackungsmaterialien und lässt darüber hinaus auch eine begrenzte Beeinflussung physikalisch-mechanischer Eigenschaften zu. Je nach Anwendung ist die maximale Zusatzmenge des nachwachsenden Anteils häufig mit ca. 10–20% limitiert.
- Der Einsatz biologisch abbaubarer Verpackungen erfreut sich besonders im Bereich kurzlebiger Verpackungsprodukte (z. B. Folien für Obst und Gemüse) großer Beliebtheit. Die dafür eingesetzten Materialkombinationen – häufig PLA (Polymilchsäure), PHA (Polyhydroxyalkanoate) oder Stärke-Blends in Kombination mit biologisch abbaubaren Polyestern – weisen auch auf konventionellen Verarbeitungsmaschinen *relativ gute Maschinengängigkeit* auf und sind aufgrund ihres Eigenschaftsprofils für kurzlebige Verpackungsanwendungen besonders prädestiniert. Für langlebige und besonders sensible Produkte können diese Systeme meist nur im Verbund mit herkömmlichen Materialien eingesetzt werden.
- Kunststoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe sind im Vergleich zu den beiden erstgenannten Möglichkeiten ein relativ junges Anwendungsgebiet, da die ökonomische Wettbewerbsfähigkeit der so gewonnenen Werkstoffe *erst in den letzten Jahren* durch die steigenden Rohstoffpreise gegeben ist. In den meisten Fällen werden im Zuge der Polymerherstellung eine oder mehrere Rohstoffkomponenten, welche bis dato aus fossilen Quellen stammten, durch gleichwertige oder ähnliche Produkte aus biotechnologischen Prozessen ersetzt. Beispiele in diesem Zusammenhang sind „Bio-PET" (Monoethylenglykol wird aus Melasse und Zuckerrohr gewonnen), „Bio-PE" (Ethylen-Monomer basiert auf Ethanol aus Zuckerrohr) oder „Bio-PA" (Sebacinsäure wird aus Rizinusöl gewonnen).
- Dem verstärkten Einsatz industrieller Koppelprodukte für Verpackungsan-



wendungen ist speziell aus dem Aspekt der Nachhaltigkeit hohe Relevanz beizumessen: So kann z. B. eine Reihe derartiger Produkte mittels biotechnologischer Prozesse zu Polymeren veredelt werden (z. B. Fermentation von Polymilchsäure aus Weizenkleie), wobei die gegenwärtig erreichten Ausbeuten *die Wirtschaftlichkeit oft noch stark eingrenzen*. Vielversprechend gilt derzeit auch der direkte Einsatz solcher Materialien für spezielle Verpackungsanwendungen – auf wissenschaftlicher Ebene werden z. B. den tierischen Molkeproteinen und den pflanzlichen Sojaproteinen hohe Erfolgschancen zugeschrieben. Besonders Molke scheint für nachhaltige Beschichtungssysteme gut geeignet zu sein, da dieses System über ähnliche Barrierekennwerte wie EVOH verfügt, sich relativ einfach auf Kunststoffe auftragen lässt und aufgrund bestimmter Inhaltsstoffe (Lactoperoxidase, Lactoferin und Lysozym) antimikrobielle Wirksamkeit zeigt.

Trotz des in der Regel günstigeren carbon footprint und des nach wie vor beträchtlichen Anwendungspotenzials von Biokunststoffen, wird von KritikerInnen oftmals die direkte *Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion als großes Problem* gesehen, auch wenn BefürworterInnen betonen, dass z. B. Stärke in verschiedenen Industriebereichen (insbes. Bau- und Papierindustrie) bereits seit Jahrzehnten eingesetzt wird. Auch wird z. T. befürchtet, dass aus einem verstärkten Einsatz nachwachsender Rohstoffe für die Kunststoffproduktion fast zwangsläufig auch ein erhöhter Einsatz von Pestiziden und Wasser resultiert, was die Nachhaltigkeit hinsichtlich dieser Aspekte stark limitieren kann. Ungeachtet derartiger Diskussionen ist jedoch im Allgemeinen festzustellen, dass VerbraucherInnen verstärkt Produkte nachfragen, denen ein Nachhaltigkeits-Gedanke innewohnt.[43] Dieser Trend dürfte sich auch *in den kommenden Jahren verstärkt* fortsetzen. Wie auch bei anderen Verpackungsmaterialien aus Kunststoff, lassen sich aufgrund der Eigenschaften von Biokunststoffen (z. B. Permeation von Gasen und Wasserdampf) nicht alle Lebensmittel abpacken. *Eine Abklärung hinsichtlich des Einsatzpotenzials ist für einen Erfolg am Markt unerlässlich*.

Nanotechnologie verspricht auch im Bereich der Lebensmittelverpackung *hohes Innovationspotenzial in unterschiedlichsten Anwendungsgebieten*.

Nanotechnologie polarisiert: Hohes Innovationspotenzial versus Unsicherheit bei KonsumentenInnen.

Neben der Erzielung von Verpackungseigenschaften, die mit herkömmlichen Materialien nicht oder nur in unzureichendem Ausmaß erreicht werden können, belegt eine internationale Studie auch das ökonomische Potenzial dieser Technologie und geht trotz Wirtschaftskrise von einem weltweiten Wachstum von etwa 12 % bis 2014 aus.[44] Derzeit sind vor allem folgende nanoskalige Anwendungen im Verpackungsbereich beschrieben bzw. angedacht:[45]

- Durch den Einsatz nanoskaliger Schichtsilikate (z. B. Montmorillonit) als Füllstoff kann eine deutliche Erhöhung der Barrierewirkung gegenüber Gasen erreicht werden – bedingt durch eine Verlängerung des Permeationsweges bei gleicher Gesamtschichtdicke.
- TiO_2- oder ZnO-Nanopartikel enthaltende Beschichtungssysteme sind optisch transparent, weisen jedoch gleichzeitig eine deutliche Barriere für UV-Strahlung auf und dienen daher dem (Licht-)Schutz empfindlicher Füllgüter.
- Der Einsatz von Silber-Nanocomposites (Silberionen eingebettet in eine amorphe Glas-Matrix) erlaubt eine effektive antimikrobielle Ausrüstung von Verpackungen; Oberflächenbeschichtungen mit speziell dotierten TiO_2-Nanopartikel bewirken unter Lichteinwirkung eine photokatalytische Inaktivierung von Bakterien.
- Mit Hilfe von Nanobeschichtungen kann eine Hydrophobierung und/oder eine Reduktion der Rauheit der mit dem Füllgut in Kontakt stehenden Verpackungsoberfläche erreicht werden, die in weiterer Folge zu einer verbesserten Restentleerbarkeit führt.
- Durch den Einsatz bestimmter Nano-Partikel (z. B. carbon nano-tubes, nanokristalline Stärke) kann schon bei vergleichsweise geringer Konzentration eine deutliche Erhöhung sowohl der Zähigkeit als auch Steifigkeit von Kunststoffmaterialien erreicht werden – ein Effekt, der mit konventionellen Additiven und/oder Füllstoffen so nicht erzielt werden kann.

Ungeachtet dieser Anwendungspotenziale stehen viele KonsumentInnen und europäische VerbraucherInnenschutz-Organisationen *dem Einsatz der Nanotechnologie im Lebensmittelbereich nach wie vor sehr kritisch gegenüber*[46]: Kernpunkt der Diskussionen bei Lebensmittel-Kontaktmaterialien ist in der Regel die mögliche Freisetzung der Nanopartikel aus dem Verpackungsmaterial und die damit eventuell verbundenen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Auch auf wissenschaftlicher Ebene werden diese Fragestellungen seit nunmehr bereits mehreren Jahren intensiv diskutiert.[47,48,49] Seit Erscheinen der europäischen Kunststoffverordnung Nr. 10/2011 dürfen Nanomaterialien im Bereich von Lebensmittelkontaktmaterialien *nur nach spezieller Evaluierung und Zulassung durch die europäische Lebensmittelbehörde EFSA* verwendet werden; letztere hat in diesem Zusammenhang im Mai 2011 einen entsprechenden Leitfaden zur Risikoabschätzung veröffentlicht.[50] Zusammenfassend kann also festgestellt werden, dass Nanotechnologie trotz ihres großen Potenzials viele Probleme im Bereich Verpackung zu lösen hat, an denen zurzeit geforscht und entwickelt wird. *Sie befindet sich hinsichtlich Akzeptanz und Einbeziehen demzufolge noch in einem sehr frühen Stadium*. Genau hier liegt die *Chance für Unternehmen*: Sie können sich auf ganz bestimmte *Nischen* spezialisieren und sich dadurch einen Vorteil im Wettbewerb gegenüber anderen Anbietern verschaffen. Demgegenüber steht das Problem der Risikobewertung: Hierzu fehlen derzeit noch ausreichende Daten, um gesicherte Aussagen zu treffen.

Während bis vor kurzem Lebensmittelverpackungen überwiegend ihrem eigentlichen Zweck, dem „Verpacken", dienten und auf diese Weise auch die Distribution der Lebensmittel erleich-

terten, *so fungieren sie heute zumindest teilweise auch als High Tech-Lösungen*, mit deren Hilfe die Haltbarkeit von Produkten aktiv verlängert und deren Qualität überwacht wird. Derartige Systeme sind unter dem Namen **aktive und intelligente Verpackungen** (AIP) bekannt und bieten sowohl ProduzentInnen als auch EndVerbraucherInnenn eine enorme Steigerung von Produktqualität und Prozesstransparenz. Zwei Mechanismen sind dabei zu unterscheiden:

- aktive Verpackungen, welche direkt in den Verderbnisprozess des Lebensmittels eingreifen bzw. das Wachstum unerwünschter Mikroorganismen hemmen bzw.
- intelligente Verpackungen, welche die Qualität der Produkte überwachen und mittels entsprechender Indikatoren über den tatsächlichen Zustand des verpackten Lebensmittels Auskunft geben.

Die weltweiten *Wachstumsraten* von aktiven und intelligenten Verpackungssystemen wird je nach Anwendungszweck mit 6% für intelligente und mit rund 12% für aktive Verpackungen angegeben.[44] Unklar ist in diesem Zusammenhang, ob diese Raten auch für Europa erreicht werden können, da hier *die KonsumentInnen gegenüber derartigen Verpackungslösungen deutlich weniger aufgeschlossen sind* als bspw. die japanische Bevölkerung. Darüber hinaus basieren einige Reaktionsmechanismen der aktiven und intelligenten Materialien auf nanoskaligen Zusatz- bzw. Rohstoffen, denen – wie bereits erwähnt – ebenfalls mit teilweise erheblicher Skepsis begegnet wird. Im Bereich der Lebensmittelverpackungen wurden folgende Konzepte bereits vorgestellt bzw. sind die Anwendungen schon in Asien oder Amerika am Markt erhältlich (Einteilung nach Wirkungsweise):

- Zeit-Temperatur-Indikatoren
- Absorbersysteme
- Antimikrobielle Systeme

Auf die genannten Systeme wird in weiterer Folge noch näher eingegangen, daneben finden sich jedoch auch noch andere aktive und intelligente Systeme, die sich aber *teilweise noch im Prototyp-Status* befinden:

- Intelligente Verpackungen mit diagnostischen und Indikatorfunktionen
- Gas-/Leckage-Indikatoren
- Frische-Indikatoren
- Feuchte-Indikatoren
- RFID-Systeme

Bei Zeit-Temperatur-Indikatoren (TTI) handelt es sich meist um Etikettenformate, welche die Zeit-Temperatur-Historie verpackter Lebensmittel begleitet. Die Indikatoren eignen sich besonders zur Kontrolle von Kühl- oder Tiefkühlprodukten, insbesondere der lückenlosen Einhaltung der Kühlkette. Ihr Wirkungsprinzip beruht meist auf irreversiblen Farbänderungen, die durch chemische, physikalisch-chemische, enzymatische oder mikrobielle Prozesse ausgelöst werden oder zu einer mechanischen Verformung führen. Die Änderungsgeschwindigkeit der Farbe läuft in den meisten Fällen bei höheren Temperaturen entsprechend schneller ab. Die Indikatoren können somit je nach Art ihrer Funktionalität und des Wirkprinzips *Informationen zum aktuellen Zustand des Füllgutes* geben.[51] Hinsichtlich ihrer Indikation lassen sich TTI folgendermaßen klassifizieren:

- CTI: Kritischer Temperatur-Indikator – Critical temperature indicators
- CTTI: Kritischer Zeit-Temperatur-Indikator – Critical temperature/time integrators
- TTI: Zeit-Temperatur-Indikatoren – Time-temperature integrators/indicators

Die Entwicklung von immer einfacher zu handhabenden und billigen Indikatorlösungen ist ein momentanes Hauptaugenmerk der Industrie. Ein Problem in diesem Zusammenhang stellt die Unschärfe der Indikatorsysteme dar, zumal die beim kritischen Umschlagspunkt auftretenden Toleranzen zu

Aktive und intelligente Verpackungen bieten sowohl ProduzentInnen als auch VerbraucherInnen eine Steigerung von Produktqualität und Prozesstransparenz.

Verunsicherungen bei KundInnen führen können.[52] Da bisher im Bereich der Intelligenten Verpackungssysteme größtenteils die Aufklärung beider Seiten (Konsument sowie Produzent) hinsichtlich Einsatzmöglichkeiten fehlt, wurde eine „Competence Platform" (http://kb.activepackaging.eu/) etabliert, um sich ein Bild hinsichtlich des Leistungspotenzials der Zeit-Temperatur-Indikatoren zu machen.

Antimikrobielle Verpackungen sind in der Lage, *verschiedenste Mikroorganismen zu hemmen oder abzutöten*. Die antimikrobielle Wirkung basiert entweder durch die Zugabe eines antimikrobiellen Wirkstoffes als Additiv (z. B. Ag+-Ionen) zu der konventionellen Packung oder andererseits durch den Gebrauch von antimikrobiell wirksamen Polymeren (z. B. antimikrobiell wirkende Seitenketten auf Basis von organischen Säuren).[53,54] Generell sind die derzeit gebräuchlichsten antimikrobiellen Substanzen chemischen Ursprungs. Die Gruppe an biozid wirkenden Verbindungen umfassen im Wesentlichen organische Säuren, Alkohole und/oder Metall-Ionen. Im asiatischen Raum finden vermehrt natürliche Extrakte auf Basis von Wasabi, Curcuma und Chili in Verpackungen Einsatz, wobei diese Anwendungen derzeit meist nur auf Pilotanlagen beschränkt sind. In Europa wird in diesem Zusammenhang vermehrt an Proteinen (z. B. Nisin) und Enzymen (z. B. Lysozym) gearbeitet, da sich diese Produkte relativ einfach aus Koppelprodukten der Milchindustrie gewinnen lassen. Prinzipiell lassen sich antimikrobielle Wirkstoffe für Verpackungen nach ihrem Wirkungsmechanismus wie folgt einteilen:[55]

- Release-Mechanismus, d. h. Wirkstoffe diffundieren aus der Oberfläche in das umgebende Medium und verhindern dadurch das Wachstum von Mikroorganismen.
- Kontakt-Mechanismus, d. h. die antimikrobielle Wirkung entfaltet sich durch direkten Kontakt der Mikroben mit der Oberfläche. Die Ansiedlung und das Wachstum werden wirksam gehemmt.

Im Allgemeinen lassen sich durch diese Technologien die Keimzahlen im Lebensmittel durch relativ gut um etwa 2–4 log10 Stufen reduzieren. Was in diesem Zusammenhang jedoch beachtet werden muss ist, *dass aufgrund der unterschiedlichen Lebensmittelzusammensetzungen die Wirksamkeit der antimikrobiellen Substanzen reduziert werden kann* (z. B. Ag+-Ionen können bei bestimmten Lebensmitteln in Form von Ag-Komplexen gebunden werden).[54] Die Vermarktung und die Verwendung von antimikrobiellen Produkten unterliegen im Allgemeinen den Regelungen der europäischen Biozid-Produkt-Richtlinie 98/8/EG.

Absorber in Verpackungsmaterialien haben den Zweck, qualitätsmindernde oder verderbnisbergende Stoffe in der Verpackung zu reduzieren. Bei diesen Stoffen handelt es sich im Allgemeinen um Sauerstoff, Ethylen und Feuchtigkeit. Die absorbierenden Komponenten können – ähnlich wie bei antimikrobiellen Verpackungen – entweder direkt in das Packmittel eingearbeitet werden oder in speziellen Sachets bzw. Etiketten enthalten sein, die der Verpackung zusätzlich zugegeben werden. Allgemein betrachtet haben die Absorbersysteme den großen Vorteil, dass die Lebensmittelqualität länger auf einem bestimmten Niveau gehalten werden kann, was sich einerseits positiv auf die Lebensmittelqualität während der Lagerung auswirkt und anderseits zu einer Reduktion von verderbnisbergenden Reaktionen führen kann.[56,57]

Trotz der großen Anwendungspotenziale von aktiven und intelligenten Verpackungen sind von KonsumentInnenseite nach wie vor Bedenken vorhanden. Dennoch zeigt sich die

Mehrheit der KonsumentInnen gegenüber diesen Systemen zunehmend aufgeschlossen.[57] Seit Erscheinen der europäischen Verordnung Nr. 975/2009 über aktive und intelligente Materialien dürfen diese Produkte nur nach einer detaillierten Bewertung durch die EFSA[58] für Lebensmittelkontaktmaterialien eingesetzt werden. Da diese Systeme oftmals mit nanoskaligen Zusatz- bzw. Rohstoffen arbeiten, sind in diesem Zusammenhang auch die Rahmenbedingungen für Nanotechnologie zu berücksichtigen.

Koordination:
DI Julian Drausinger (LVA)

AutorInnen:
DI Julian Drausinger (LVA)
DI Christine Grabler-Mayr (LVA)
DI Michael Pitzl (ofi)
DI Christian Kummer (VFG)

LITERATUR

1 Deloitte Development LLC, (2010) Survey conducted online on March 22-24, 2010
2 EU-Lebensmittelinformations-Verordnung (LMIV, VO (EU) Nr. 1169/2011), 22.11.2011
3 Hrsg. SGS (2011) White Paper: Comparing GFSI recognized standards
4 Knorr, D. et. al. (2010) Emerging and New Technologies in Food Science and Technology, IUFOST Scientific Information Bulletin
5 Moreau M., Orange N., Feuilloley M.G.J. (2008). Non-thermal plasma technologies: New tools for biodecontamination; Biotechnology Advances 26, 610–617.
6 Novel continuous in-pack decontamination system for fresh produce (SAFE-BAG), funded under 7th FWP (Seventh Framework Programme), research area: SME-2011-2 Research for SME associations, Start Date: 2011-09-01, duration: 36 months http://www.safebag-fp7.eu/
7 Knorr, D. (2002). High pressure processing for preservation, modification and transformation of foods. High Pressure Research, 22, 595–599
8 Gould, G. W. (1995). New Methods of Food Preservation, Blackie Academic, London
9 Ben Bouckley, (2011) Listeria research forces bacteria to jump hurdles, Food Production Daily
10 Control and prevention of emerging and future pathogens at cellular and molecular level throughout the food chain (Pathogencombat), funded under 6th FWP (Sixth Framework Programme), Integrated Project, Thematic Priority 5 Food Quality and Safety, Start Date: 2005-04-01, duration: 66 months http://www.pathogencombat.com
11 BCG Staff (2011) New Realities for Consumer Goods and Retail in 2011, March 2011, The Boston Consulting Group
12 Peter, S.; D. Leipold (1994) Patent WO9522911 (A1) Alcohol-Free Refreshing Drink; Anmeldung 24.2.1994; Veröffentlicht 31.8.1995
13 Functional beverages, http://www.drinkvenga.com
14 Smoothies with an edge, http://www.teawave.net
15 Wasser Bioresonanz-Informationen, http://www.q-aqua.de
16 Änderung von Anhang II der Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich Steviolglycosiden (VO (EU) Nr. 1131/2011), 11.11.2011
17 Jane Byrne (2011) Consumers continue to seek alternatives to artificial flavours, reports Leatherhead, Food Production Daily
18 Nathan Grey (2011) Sweet taste modulator may help provide „true" sugar taste with zero calories: Senomyx, Food Production Daily
19 Kullmann, Armin und Leucht, Claudia (2011) Synergie oder Profilverlust? Potentiale und Probleme einer gemeinsamen Regionalvermarktung ökologischer und konventioneller Produkte. Institut für Ländliche Strukturforschung (IfLS) an der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main, Regionalentwicklung, Marketing & Beratung.
20 EFSA (2011) Leitfaden zur Risikobewertung im Rahmen von Anträgen auf Zulassung von technisch hergestellten Nanomaterialien zur Verwendung in Lebens- und Futtermitteln
21 S. Greßler, A. Gazsó, M.Simkó, M. Nentwich, U. Fiedeler (2008) Nanopartikel und nanostrukturierte Materialien in der Lebensmittelindustrie, NanoTrust Dossiers Nr. 004
22 Popper L. et al.: Composite Flours, in: Future of Flour, 2006, Agrimedia.
23 Popper L.: Flour Treatment, in: Future of Flour, 2006, Agrimedia.
24 Klingler R. W.: Grundlagen der Getreidetechnologie, 1995, Behr.
25 Seibel W.: Warenkunde Getreide, 2005, Agrimedia.
26 „Pflanzenproduktion im Wandel – Wandel im Pflanzenschutz", Themenschwerpunkt der 56. Deutschen Pflanzenschutztagung 2008 in Kiel, 2008, DPG Selbstverlag.
27 Heffner E. et al.: Genomic selection for crop improvement. 2009, Crop Science, 49:1-12.
28 Willam, A.. (2011): Wie viel Zuchtfort-

schritt ist möglich? In: Arbeitsgemeinschaft österreichischer Fleckviehzüchter (AGÖF) und Arbeitsgemeinschaft Süddeutscher Rinderzucht- und Besamungsorganisationen e.V. (ASR) (Hrsg)., Tagungsunterlagen zur Informationsveranstaltung „Genomische Selektion", S. 27–31
29 Österreichisches Lebensmittelbuch, IV. Auflage, Codexkapitel/ B20/ Mahl- und Schälprodukte; Erlass: BMG-75210/0013-II/B/7/2009 vom 18.02.2010
30 Leben lebensgemäß zu erfassen – Pioniere Pfeiffer, Wala, Kolisko, Hauschka u.a.
31 Biedermann M., Uematsu Y., Grob K. (2010): Mineral oil contents in paper and board re-ceycled to paperboard for food packaging. Packag Technol Sci 24(2), 61–73
32 Wagner M., Öhlmann J. (2009): Endocrine disruptors in bottled mineral water: total estrogenic burden and migration from plastic. Environ Sci Pollut Res 16, 278–286
33 Arvanitoyannies I.S., Bosnea L. (2004): Migration of Substances from Food Packaging Materials. Crit Rev Food Sci 44(2), 63–76
34 Auer M., Nicolas R., Rosling A., Wilen C.-E. (2003): Synthesis of Novel-dl-α-Tocopherol-Based and Sterically-Hindered-Phenol-Based Monomers and Their Utilization in Copolymerizations over Metallocene/MAO Catalyst Systems. A Strategy To Remove Concerns about Additive Compatibility and Migration. Macromolecules 36(22), 8346–8352
35 Duncan, T.V. (2011): doi:10.1016/j.jcis.2011.07.017 J Colloid Interface Sci
36 EuPIA (2011): www.eupia.org 19.09.2011
37 Tacker M. (2011): Endokrine Disruptoren in Lebensmitteln und Verpackun-gen. Ernäh-rung/Nutrition (7-8)
38 Forsthövel J. (2009): PET-Flaschen werden immer leichter. neue verpa-ckung 62, 42–44.
39 WRAP (2010): http://www.wrap.org.uk/retail/case_studies_research/lightweighting_carbo.html 25.02.2010
40 European Bioplastics (2011): www.european-bioplastics.org 20.09.2011
41 Yu L., Dean K., Li L. (2006): Polymer blends and composites from renew-able resources. Prog Polym Sci 31 576–602
42 Chen G.Y., Qiao, L. (2011): Research on Preparation and Properties of Edible Composite Protein Films. Appl Mech Mat 87, 213-222
43 3SAT (2011): http://www.3sat.de/page/?source=/nano/news/106558/index.html 21.09.2011
44 iRAP-Studie (2009): Nano-enabled packaging for the food and beverage industry – a global technology, industry and market analysis
45 de Azeredo H.M.C. (2009): Nanocomposites for food packaging applications. Food Res Intl 42, 1240–1253
46 Siegrist M., Cousin M.-E., Kastenholz H., Wiek A. (2007): Public acceptance of nanotechnology foods and food packaging: the influence of affect and trust. Appetite 49, 459-466
47 Lagarón J., Cabedo L., Cava D., Feijoo J., Gavara R., Gimenez E. (2005): Improved packaging food quality and safety, Part 2: Nano-composites. Food Addit Contam 22(10), 994–998
48 Ryman-Rasmussen J., Riviere J., Monteiro-Riviere N. (2006): Penetration of intact skin by quantum dots with diverse physicochemical properties. Toxicol Sci 91(1),159–165
49 Schneider J. (2007): Can microparticles contribute to inflammatory bowel disease: Innocuous or inflammatory? Exp Biol Med 232, 1–2
50 EFSA (2011): Guidance on the risk assessment of the application of nanoscience and nano-technologies in the food and feed chain
51 Kreyenschmidt J., Christiansen H., Hübner A., Raab V. and Petersen B. (2010): A novel pho-tochromic time–temperature indicator to support cold chain management. Int J Food Tech 45(2), 208–215
52 Raab V., Petersen B., Kreyenschmidt J. (2011): Temperature monitoring in meat supply chains. British Food Journal 113 (10)
53 Kenawy E.-R., Worley S. D., Broughton R. (2007): The Chemistry and Applications of Antimicrobial Polymers: A State-of the-Art Review. Biomacro-molecules 8 (5), 1359–1384
54 Ilg Y., Kreyenschmidt J. (2011): Effects of Food components on the antim-icrobial activity of polyporplyene surfaces containing silver ions (AG+). Int J Food Tech 46 (7), 1469–1473
55 Suppakul P., Miltz J., Sonneveld K., Bigger S.W. (2003): Active Packaging Technologies with an Emphasis on Antimicrobial Packaging and its Applications. J Food Sci 68 (2), 408–420
56 Kerry J.P., O"Grady M.N., Hogan S.A. (2006): Past, current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review. Meat Science 74, 113–130
57 De Jong A.R., Boumans H., Slaghek T., Van Veen J., Rijk R., Van Zandvoort M. (2005): Active and intelligent Packaging for food: Is it the future? Food Addit Contam 22(10), 975–979
58 EFSA (2009): Guidelines on submission of a dossier for safety evaluation by the EFSA of active or intelligent substances present in active and intelligent materials and articles intended to come into contact with food

4

PRODUKTE, PROZESSE, WERKSTOFFE

Die hohen Anforderungen im Leichtbau können nur durch den Einsatz von optimierten Materialkombinationen erreicht werden.

EINLEITUNG

Hohe Festigkeit und Steifigkeit, Dauerhaftigkeit, thermische Stabilität sowie Korrosionsbeständigkeit in Kombination mit geringem spezifischem Gewicht – das sind heute oft die Werkstoffanforderungen, die an moderne Konstruktionsteile (z. B. in der Automobilindustrie) gestellt werden. In vielen Fällen ist dieses Ziel alleine durch den Einsatz eines einzigen Werkstoffes nicht zu erfüllen: Optimierte Materialkombinationen aus zwei (oder mehreren) unterschiedlichen Werkstoffklassen (heterogene Multimaterialverbunde) bzw. die Kombination metallischer Werkstoffe mit Faser-Kunststoff-Verbunden (FKV) stellen häufig geeignete Lösungsansätze dar.

Der allgemeine Trend zu Leichtbau-Konstruktionen sowie verschärfte wirtschaftliche Rahmenbedingungen in der Produktion führen zunehmend

- zum Einsatz innovativer Materialien bzw. Materialkombinationen,
- zur Herausforderung, diese Werkstoffe untereinander zu verbinden sowie
- zur Anwendung neuartiger bzw. Optimierung bestehender Fertigungstechnologien.

Aufgrund steigender Qualitätsanforderungen an moderne Werkstoffe und Bauteile spielt außerdem die sichere Erkennung von Materialdefekten und/oder Materialermüdungen und damit die Anwendung innovativer Untersuchungsmethoden eine immer größere Rolle. Beschränkte man sich in der Vergangenheit überwiegend auf klassische Methoden der zerstörenden Materialcharakterisierung, so kommt heute ganzheitlichen Betrachtungsweisen steigende Bedeutung zu. Damit einher geht die Anwendung zerstörungsfreier Prüfmethoden in der Material- und Bauteilcharakterisierung: Ihre zunehmende Verbreitung verdanken sie insbesondere der Verfügbarkeit hochempfindlicher Sensortechnik und ausgereifter Datenverarbeitungssysteme zu wirtschaftlich vertretbaren Konditionen. Die Analyse von Ausfallteilen im Vergleich zu fehlerfreien Chargen hilft, die Schadensursachen aufzuklären und latente Mängel oder Fehler der Produktion zu lokalisieren; auf diese Weise entsteht ein besseres Verständnis für den eingesetzten Werkstoff, dessen Verarbeitung und Einsatzgrenzen.

Speziell in technischen Anwendungsbereichen wird darüber hinaus immer öfter eine 100 %ige Kontrolle der ausgelieferten Teile gefordert: Entsprechend ausgereifte inline-Prüfmethoden erlauben hier nicht nur die Sicherung der Produktqualität sondern können auch zur Prozesssteuerung herangezogen werden, was speziell bei hohen Stückzahlen eine signifikante Kostenreduktion durch Ausschuss-Verringerung bewirken kann.

Da Schadensfälle immer auch Imageverlust und oft hohe Folgekosten nach sich ziehen – beides Faktoren, die insbesondere für KMU extrem kritisch sein können – empfiehlt es sich, im Rahmen begleitender qualitätssichernder Maßnahmen rechtzeitig entsprechendes Know-how über den eingesetzten Werkstoff oder Materialverbund aufzubauen: Die Beschäftigung mit den Möglichkeiten neuer, innovativer Charakterisierungsverfahren kann hierzu oft einen wesentlichen Beitrag leisten.

Im sehr breiten Feld der entsprechend verfügbaren innovativen Produkte, Prozesse und Werkstoffe fokussiert sich das vorliegende Innovationsradar entlang der Kompetenzen der ACR-Institute auf zwei Themenbereiche:

- Neue Materialverbunde durch innovative Herstellungsverfahren sowie Füge- und Hybridfügetechniken
- Innovative Untersuchungsmethoden in der Material- und Bauteilprüfung.

Konstruktionsteile im Leichtbau zeichnen sich durch hervorragende Eigenschaften in Kombination mit geringem Gewicht aus.

NEUE MATERIAL-VERBUNDE

Nach wie vor stellen *wirtschaftliche Überlegungen oft ein Haupthindernis* für die Umstellung herkömmlicher Produktionsverfahren bzw. für die Einführung neuer Füge- und Hybridfügetechniken dar. *Den relativ hohen Anfangsinvestitionen stehen jedoch die erzielbaren deutlichen Einsparungen an eingesetzten Materialmengen sowie eine erhöhte Produktivität gegenüber.*

In diesem dynamischen Arbeitsgebiet ergeben sich für Entwickler und Anwender allerdings oft die folgenden Herausforderungen:

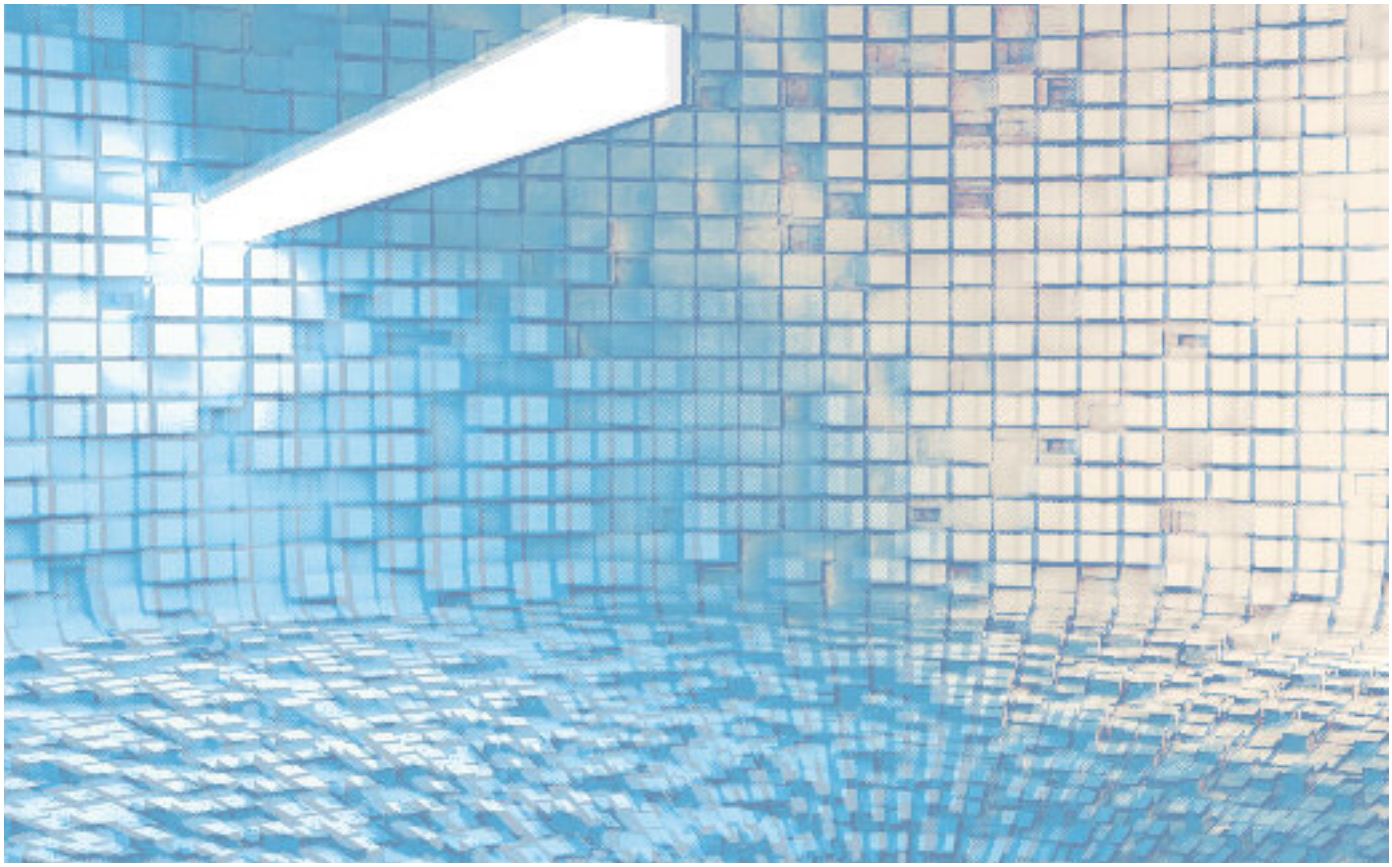
- Notwendigkeit der Weiterentwicklung von Werkstoffen und Multimaterialverbunden, um die gesteckten Ziele (z. B. Gewichtseinsparung, Prozessoptimierung, Designanforderungen) zu erreichen;
- Korrekte und anwendungsspezifische Auswahl und Abstimmung von Verbindungstechnologien im Hinblick auf die jeweiligen Anforderungen moderner Konstruktionsteile – sowohl im Bereich metallischer Werkstoffe untereinander als auch im Bereich heterogener Mulitmaterialverbunde (z. B. mit metallischen und polymeren Materialkomponenten);
- Optimierung von Prozesstechnologien, um intelligentes Design mit wirtschaftlich vertretbaren Fertigungsprozessen realisieren zu können (Energieeinsparung und Effizienzsteigerung bei der Fertigung);
- Umweltfreundlichkeit der Produkte, insbesondere in Bezug auf die Life Cycle Performance sowie die Recyclierbarkeit.

TECHNOLOGISCHE TRENDS

Im Bereich der **Faser-Kunststoff-Verbunde** (FKV) wird in den kommenden 5 Jahren eine *Verdoppelung des Bedarfes* von 2011 erwartet. Gründe hierfür liegen insbesondere in der zunehmenden Substitution herkömmlicher (insbes. metallischer) Werkstoffkomponenten – heterogene Multimaterial-Verbunde werden als Zukunftspotential der Branche angesehen. Signifikante technologische Entwicklungen sind dabei sowohl in den Bereichen der Faser- und Matrix-Werkstoffe als auch bei den Verarbeitungstechnologien zu erkennen. Die in den FKV eingesetzten Fasermaterialien verleihen dem Materialverbund seine typischen Eigenschaften, wie hohe Festigkeit, Steifigkeit, Zähigkeit und Wärmeformbeständigkeit.

Nach wie vor werden Glasfasern aus Preisgründen trotz ihres relativ hohen spezifischen Gewichtes am häufigsten eingesetzt – entweder in Form von Endlosfasern, oder aber auch als Matten, Gewebe und/oder Kurzglasfasern. Carbonfasern sind derzeit noch in vergleichsweise kleinen Mengen im Einsatz, die Verbrauchsmengen der letzten Jahre zeigen jedoch einen kontinuierlich steigenden Bedarf. Carbon-Composites weisen eine enorme Steifigkeit und Festigkeit bei gleichzeitig geringer Dichte auf und haben sich bisher vor allem in High-Tech-Anwendungen (Raumfahrt, Militär, Spitzensport) etabliert. Für die kommenden Jahre wird ein deutlich zunehmender Einsatz in der Serienfertigung, z. B. im Automobilbau, erwartet. Zukunftspotentiale liegen hier einerseits in der Verwendung von Mischgeweben, mit deren Hilfe Verbundwerkstoffe hinsichtlich ihrer Steifigkeit und Zähigkeit exakt ausbalanciert werden können; andererseits aber auch in der Ausgestaltung bzw. Anfertigung innovativer textiler Vorformlinge.

Aramidfasern (aromatische Polyamidfasern) werden im Bereich der FKV künftig verstärkt gemeinsam mit den vergleichsweise steifen Carbonfasern eingesetzt werden. Diese dabei erhaltenen Composites zeichnen sich durch sehr hohe Festigkeit, hohe Dehnung und exzellente Schlagzähigkeit aus und



eignen sich daher insbesondere für schlagbeanspruchte Bauteile. Speziell in den letzten Jahren werden zunehmend auch Naturfasern (Hanf-, Flachs-, Holz-, Sisal- oder Kokosnussfasern) im Bereich von FKV eingesetzt: Zum einen wegen ihres Eigenschaftsspektrums (geringe Dichte, hohe Zähigkeit, hohe Steifigkeit), insbes. aber mit ökologischen Argumenten (Nachhaltigkeit, Recyclierbarkeit, gute CO_2-Bilanz).

Weiterentwicklungen im Bereich von Harz- und Matrixsystemen erfolgen heute meist sehr zielgerichtet und anwendungsorientiert in Bezug auf Temperaturbeständigkeit, Alterungsbe - ständigkeit, Chemikalien- und Korrosionsfestigkeit, Schlagzäh- und Brandfestausrüstung sowie Licht- und UV-Beständigkeit. Im Bereich der Reaktivharzsysteme kommt zudem der Optimierung der Aushärtungsreaktionen (Harz-Reaktivität) wesentliche Bedeutung zu, sind sie doch für die letztlich erzielbare Zykluszeit von entscheidender Bedeutung. Bei faserverstärkten Thermoplasten ist neben dem derzeit überwiegend eingesetzten Polypropylen ein zunehmender Einsatz technischer, hochtemperaturbeständiger Thermoplaste (z. B. Polyamide, PEEK) festzustellen; treibende Faktoren sind dabei vor allem die Themen Metallersatz, Funktionsintegration und Designfreiheit.

Im Bereich der **Fertigungstechnologien** etablieren sich infolge steigender Stückzahlen und erhöhten Kostendrucks zunehmend automatisierte Verfahren und Prozesse, auch wenn dafür häufig ein vergleichsweise hoher Maschineneinsatz erforderlich ist; offene und manuelle Verfahren (Faserspritzen, Handlaminieren etc.) geraten demgegenüber zunehmend unter *Kostendruck*.

Bereits gut etablierte Herstellungstechnologien werden sowohl verfahrens- als auch materialspezifisch laufend weiterentwickelt oder miteinander kombiniert – erwähnt seien in diesem Zusammenhang z. B. die Bemühungen um Reduktion der Zykluszeiten bei der Prepreg-Verarbeitung (preimpregnated fibers) durch die „Quickstep"-Technologie, die Herstellung komplexer großflächiger Leichtbau-Formteile durch das RRIM-Verfahren (Reinforced Reaction Injection Moulding) oder aber auch die Kombination von textilen Wickeltechniken mit Pultrusionsverfahren zur Herstellung thermoplastischer FKV-Endlosprofile. Daneben entstehen aber auch immer wieder neue Verfahrenstechnologien, mit deren Hilfe z. B. Leichtbauteile durch hochdefinierte Faserorientierung möglichst materialsparend hergestellt werden können (z. B. TFP – Tailored Fibre Placement,

Heterogene Multimaterial-Verbunde sind die Zukunft. Signifikante technologische Entwicklungen gibt es sowohl in den Bereich der Faser- und Matrix-Werkstoffe als auch bei den Verarbeitungstechnologien.

FPP – Fibre Patch Placement, ATL – Automated Tape Laying).

Großes Entwicklungspotenzial wird auch diversen Sandwichbauweisen zugeschrieben, in denen vermehrt nicht nur Harz und Fasern, sondern diverse weitere Materialkomponenten, wie z. B. Schaumkerne, gezielt zum Einsatz kommen. Für eine Vielzahl von Produktanwendungen wird auf die Weiterverarbeitung von Thermoplast-Halbzeugen (GMT / Organobleche) gesetzt. Vorteil ist die im Vergleich zu Prepregs *unbegrenzte Haltbarkeit des Vorprodukts*.

Als Beispiel, welches die Vorteile der Weiterentwicklung in Bezug auf die Werkstoffe und die Fertigungstechnologie verdeutlicht, ist die Ausführung der Fahrgastzelle des Lamborghini Aventador zu nennen. Durch Verwendung von Carbonfasern in einem Kunststoffverbund (CFK) konnte im Vergleich zu herkömmlichen Werkstoffen das Gewicht reduziert und gleichzeitig durch die *hervorragenden Werkstoffeigenschaften* die Sicherheit der Insassen erhöht werden; durch Weiterentwicklungen in der Fertigungstechnologie konnten auch komplexere Geometrien realisiert werden.

Die Weiterentwicklung von Gießprozessen und Gusswerkstoffen sowie deren Einsatz in Kombination mit Nicht-Gusswerkstoffen stellen in Hinblick auf neue Anwendungen sowie gesteigerte Anforderungen an Bauteile und Konstruktionen eine Herausforderung für die Zukunft im Bereich der innovativen Bauteilherstellung durch Gieß-Prozesse dar. Die Fahrzeugindustrie ist mit Abstand der größte Gussanwender und auch der innovative Treiber, wenn es darum geht, Gießprozesse und Gusswerkstoffe zu optimieren.

Als technologischer Trend ist die Topologie-Optimierung von Gussstücken zu erwähnen: Die Geometrie von Bauteilen wird hier derart gestaltet, dass an Oberflächen minimierte Spannungsspitzen auftreten – das Ergebnis ist ein festigkeits- und gewichtsoptimiertes Bauteil, welches oft dem Vorbild der Natur nachgeahmt ist (bionische Herleitung). Mit diesem Trend einhergehend sind Verbesserungen im Bereich der Formfüllungs- und Erstarrungssimulation zu nennen.

Metall-Verbunde als Bauteile der Zukunft werden sich dadurch auszeichnen, dass jeweils der für die lokale Beanspruchung am besten geeignete Werkstoff an der richtigen Stelle eingesetzt wird bzw. dass durch Funktionsintegration aus mehreren Bauteilen ein einziges Bauteil entsteht. Dies kann durch Kombination von mehreren unterschiedlichen Werkstoffen erreicht werden. Getrieben wird diese Entwicklung sowohl aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten (Energieeinsparung, bessere Ressourcennutzung) als auch wegen verstärkter Berücksichtigung von Umweltaspekten. Metallverbunde können grundsätzlich entweder mittels Füge- oder Hybridfügetechniken, wie z. B. Schweißen, Löten, Nieten, Schrauben oder Kleben oder aber auch gießtechnisch hergestellt werden. Die gießtechnische Herstellung bietet gegenüber den anderen Verfahren den großen Vorteil, dass selbst komplexeste Geometrien realisiert werden können. Die Kombination unterschiedlicher Werkstoffe erfordert technisch anspruchsvolle Lösungen und es sind noch große Anstrengungen in Forschung und Entwicklung notwendig, um das gesamte Potential zu nutzen, das durch Werkstoffverbunde ermöglicht wird. Während es für die Verbindung arteigener Werkstoffe meist mehrere Möglichkeiten gibt und diese auch weitgehend technisch beherrscht werden, bedarf die Verbindung von artfremden Materialien noch weiterer Forschung und es ist *erst mittelfristig mit serientauglichen Lösungen zu rechnen*.

Bei der gießtechnischen Herstellung von Metall-Metall-Verbunden, wird ein

Der Einsatz innovativer Materialien bzw. Materialkombinationen ermöglicht KMU, sich auch künftig erfolgreich am Markt zu behaupten.

vorgefertigtes metallisches Teil in einem weiteren Schritt durch Gießen ein- bzw. umgossen. Ein hervorragendes Beispiel dafür ist ein Verbundgusskurbelgehäuse aus einer Aluminium- und Magnesiumlegierung: Dabei wird das innere, höher belastete Skelett, aus einer übereutektischen Legierung im Niederdruckgießverfahren hergestellt und in einem weiteren Schritt im Druckgießverfahren mit einer leichten Magnesiumlegierung zum fertigen Motorblock umgossen. Gegenüber einer reinen Aluminium-Ausführung kann dadurch eine *Gewichtseinsparung von ca. 25 %* realisiert werden.

Weitere Metall-Metall-Verbunde, an deren Herstellung derzeit geforscht wird, ist z. B. hybrider Stahlblech-Leichtmetall-Verbundguss: Dabei werden umgeformte Blechstrukturen im Druckgießverfahren mit einer Aluminiumlegierung umgossen, sodass eine formschlüssige Verbindung entsteht.

Ein Metall-Keramik-Verbund verdeutlicht Möglichkeiten zur Gewichtsreduktion im Automotive-Bereich durch Einsatz von Verbundwerkstoffen auf Aluminium- und Magnesiumbasis, die durch keramische Komponenten höhere Festigkeiten bei geringerem Bauteilgewicht erreichen. Bei Verbundwerkstoffen aus Metall und Keramik (Metal Matrix Composites – MMC oder Ceramic Matrix Composites – CMC) wird ein metallisches Trägermaterial mit keramischen Hartstoffpartikeln verstärkt. *Die Leichtigkeit des Metalls lässt sich auf diese Weise mit der Beständigkeit der Keramik kombinieren*. Entweder werden die Keramikpartikel mit der metallischen Schmelze vergossen (Partikelverstärkung) oder hochporöse Keramik-Vorformlinge, sogenannte Preforms, beim späteren Gießen des Leichtbauteils von der Metallschmelze infiltriert (Kurz- oder Langfaserverstärkung). Ein Beispiel für eine derartige Anwendung ist die lokale Verstärkung der Zylinderlaufflächen im Motorblock der Porsche Boxster und 911. Dabei werden keramische Preforms in eine metallische Form eingelegt und im Druckgießverfahren mit einer Aluminiumschmelze infiltriert und im Motorblock eingegossen.

Bei funktionsintegrierten Gussbauteilen geht es darum, **elektronische und adaptronische Funktionselemente** direkt im Druckgießverfahren einzugießen. Dadurch können erweiterte elektronische, sensorische oder aktorische Funktionalitäten in Gussteilen integriert werden. Die Anwendungspotenziale liegen bspw. in der eindeutigen Gussteilkennzeichnung und -verfolgung mittels integrierter RFID-Transponder (Radiofrequenz-Identifikation), in der Erkennung von Bauteil-Überbelastung mittels integrierter Piezo-Sensoren sowie in der Beeinflussung des Schwingungsverhaltens von Bauteilen und deren Akustik mittels integrierter Piezo-Aktoren.

Speziell der Fahrzeugbau wird immer wieder als „Trendsetter" für die Einführung neuer **Fügetechnologien** angesehen. Der Einsatz unterschiedlichster Werkstoffe (Stahl, Aluminium, Magnesium, Kunststoffe, Faser-Kunststoff-Verbunde etc.) sowie die Anwendung innovativer Konstruktionsprinzipien erfordert fast zwangsläufig auch eine entsprechende Weiterentwicklung der Fügetechniken. Leichtbau-Konstruktionen sowie verschärfte wirtschaftliche Rahmenbedingungen erfordern zunehmend den Einsatz und die Entwicklung innovativer Materialien bzw. Materialkombinationen und deren Verbindungsmethoden. Schweißen, Clinchen, Stanznieten und Kleben sind als anerkannte (Einzel-)Fügetechniken bereits seit langem Stand der Technik. Durch die *zunehmende Komplexität neuer Leichtbauteile* gelangt die Anwendung dieser Verbindungstechniken jedoch zunehmend an die Grenzen der einzelnen Verfahren. Die folgenden *Herausforderungen* sind zukünftig zu bewältigen:

- die Reduzierung des Bauteilgewichts

Das Hybridfügen gleicht durch Kombination zweier oder mehrerer Fügetechniken die Vor- und Nachteile der jeweiligen Verfahren aus.

- die Effizienzsteigerung bei der Bauteilfertigung
- die Optimierung der Prozessbeherrschung
- die Erhöhung der Langzeitbeständigkeit und Dauerfestigkeit von Bauteilen sowie
- die Verbesserung der Recyclierbarkeit.

Diese Anforderungen sind nur mithilfe innovativer produktionstechnischer Lösungen zu erreichen.

Das sogenannte Hybridfügen kann hier Abhilfe schaffen, weil es durch gezielte Kombination zweier oder mehrerer Fügetechniken die Vor- und Nachteile der jeweiligen Verfahren in sinnvoller Weise ausgleicht. Ziel ist es dabei, die Stärken der jeweils integrierten Fügetechniken zu akkumulieren und auf diese Weise deren Schwächen zu kompensieren. Besondere Bedeutung haben in den letzten Jahren Hybridfügeverfahren erlangt, bei denen umformtechnische oder thermische Fügeverfahren (z. B. Falzen, Clinchen, Stanznieten, Punktschweißen) mit klebetechnischen Prozessen kombiniert werden. Auf diese Weise können alterungsbedingte Eigenschaftsverluste, wie sie z.T. bei reinen Klebeverbindungen zu beobachten sind, vermieden werden; umgekehrt übernehmen die mechanischen Verfahrenskomponenten die Fixierung der Fügepartner bis zur Klebstoffaushärtung. Auch beim Fügen unedler Metalle, wie z. B. Aluminium- und Magnesium-Legierungen, ist das Kleben bzw. Punktschweißkleben oft die Fügetechnik der Wahl.

Beim Laserinduktionswalzplattieren werden Metall-Bänder, die nicht zwangsweise geometrisch deckungsgleich sein müssen, beim Einlaufen in den Walzstock zunächst induktiv vorgewärmt. Unmittelbar vor dem Walzspalt erwärmt ein Linienlaser die Innenflächen der Bänder, anschließend werden die Bänder zusammengewalzt und können sodann umformtechnisch weiterverarbeitet werden.[1,2] Ziel dieser Fügetechnik ist es, *hochwertige Metallbleche mit preiswerteren Typen zu verbinden* und so kostengünstigere Materialkombinationen mit hochwertigen Gesamteigenschaften zu erzeugen. Auch können auf diese Weise bestimmte Materialkombinationen erzielt werden, die anders nicht oder nur sehr schwer herstellbar sind. Bisher wird diese Technologie zur Herstellung von Halbzeugen aus der Kombination härtbarer Stähle zur Fertigung von Werkzeugen (z. B. Bohrer) eingesetzt und findet ihre Verwendung auch bei der Erzeugung von Teilen der Antriebstechnik (z. B. Zahnräder, Spindeln, Nocken). Weiters kann dieses Verfahren auch zur Plattierung auf Bauteiloberflächen seine Anwendung finden (z. B. Fertigung von Führungsbahnen).[3,4] Zu erwähnen sind in diesem Zusammenhang auch Halbzeuge aus nicht oder nur schwer schweißbaren Materialienkombinationen (Ti-Al, Ni-Ti, Ni-Al) sowie Verbinder aus Kupfer und Aluminium für Antriebskomponenten.[5,6] Auch an einer für den Leichtbau interessanten Kombination aus Stahl mit einer Aluminium-Legierung, die *in den kommenden Jahren* zur industriellen Umsetzung zur Verfügung stehen wird, wird gearbeitet.

Intensiv wird auch an der Weiterentwicklung der Bimetall-Doppelschweißtechnik („TWIN-Schweißen") gearbeitet – eine Technik zum Verbinden unterschiedlicher Metalle (z. B. Stahl / Aluminium) durch Verschweißen mit einer Bimetallkomponente im Schweißnahtbereich.[7,8] Die Vorteile liegen im nahezu beliebigen kontinuierlichen Nahtverlauf und dem damit *universellen Einsatzgebiet*. Als Hauptschwierigkeit ist die Verfügbarkeit der jeweiligen Bimetalle anzusehen; letztere werden z.T. mittels Laserinduktionswalzplattieren hergestellt. Aluminium und Stahl sollen kombiniert werden[9], als auch die Verbindung anderer Materialkombinationen (zur weiteren Optimie-

rung von Design, Gewicht und Festigkeit von Bauteilen).

Im Gegensatz zu konventionellen Schweißverfahren wird beim Rührreibschweißen (Friction Stir Welding – FSW) der Werkstoff nicht völlig aufgeschmolzen, sondern mit Hilfe eines rotierenden, verschleißfesten Werkzeugs erwärmt (plastifiziert) und gleichzeitig verdichtet; durch dieses Fügen in der festen Phase entsteht nach dem Abkühlen eine feste Verbindung. Ein Arbeiten unter Schutzgasatmosphäre ist dabei nicht erforderlich, auch besteht durch die geringere Temperaturbelastung deutlich geringere Neigung zur Riss- und/oder Porenbildung in der Schweißnahtzone. Als weitere Vorteile werden u.a. genannt:

- ein *hoher Grad an Automatisierbarkeit*
- *hohe Reproduzierbarkeit*
- *geringe Fehleranfälligkeit*
- *gute Überwachbarkeit des Prozesses sowie*
- *Dauerfestigkeit der Verbindung*.[10,11]

Ausgehend von Aluminium und seinen Legierungen eignet sich das Verfahren insbesondere auch im Bereich von Magnesium(legierungen), Kupfer, Stahl und Titan(legierungen); darüber hinaus wurden in den letzten Jahren auch vermehrt Anstrengungen unternommen, das Rührreibschweißen auch für thermoplastische Kunststoffe einzusetzen. Ein besonderer Vorteil der Anwendung ergibt sich auch durch die Tatsache, dass viele Materialkombinationen, die üblicher Weise als nicht miteinander verschweißbar gelten, durch Rührreibschweißen erfolgreich verbunden werden können. Diese Technologie legt ihren Schwerpunkt auf qualitativ hochwertige Verbindungen und in die Bereiche Leicht- und Hybridbau (Multi-Material-Design) und entwickelt sich in den letzten Jahren stetig weiter, um in Zukunft einen breiten Anwendungsbereich abzudecken.

Metallstifte (Pins), die auf Metalloberflächen geschweißt werden (häufig ca. 10 Pins/cm^2), sind als weitere neuartige Verbindungstechnologie (lösbar oder nicht lösbar) zu nennen. Verbindungen zwischen verschiedenen Metallen und die Möglichkeit, Metall mit Kunststoffen oder Keramik zu verbinden, sind auf diese Weise möglich. Dieses Verfahren bietet sich an als Abstandshalter für definierte Distanzen, Beschriftung von Bauteilen oder auch lösbare Verbindungen; die Variantenvielfalt liefert ein *großes technologisches Potential* für Unternehmen und ist in ihrer *Einsatzmöglichkeit noch nicht ausgeschöpft*.[12,13]

Der verstärkte Einsatz innovativer Verbundwerkstoffen stellt die Werkstoffprüfung vor große Herausforderungen.

UNTERSUCHUNGSMETHODEN

Für die Untersuchung struktureller und funktioneller Eigenschaften von Materialien und Bauteilen sind in den letzten Jahren eine Vielzahl neuer, innovativer Charakterisierungsmethoden entwickelt worden. Einige dieser Verfahren haben bereits Eingang in die Qualitätskontrolle hochwertiger Bauteile bzw. Bauteilkomponenten erlangt bzw. werden im Bereich der Schadensursachenforschung mit Erfolg eingesetzt. Andere wiederum stehen erst am Beginn ihrer Markteinführung, lassen jedoch ein erhebliches Entwicklungspotential erkennen.

Wegen der zunehmenden Bedeutung von Verbundwerkstoffen in der Bautechnik und im Fahrzeugbau stieg in den letzten Jahren der Bedarf an Möglichkeiten, Bauteile aus diesen neuen Werkstoffen auf Defekte und Abweichungen zu prüfen. Der heterogene Aufbau und die meist anisotrope Struktur dieser Materialien stellen die Werkstoffprüfung und die Qualitätssicherung vor *große Herausforderungen*, die mit herkömmlichen Charakterisierungsmethoden oft nicht mehr bewältigt werden können.

Aber auch im Bereich der mikroskopisch kleinen Strukturen sind die *Anforderungen an die Charakterisierungsmethoden dramatisch angestiegen* – insbesondere durch den zunehmenden Einsatz nanotechnologischer Beschichtungen und/oder Strukturen, die immer höheres Auflösungsvermögen der einzelnen Methoden verlangen, um diese Strukturen auch wirklich korrekt darstellen und charakterisieren zu können.

TECHNOLOGISCHE TRENDS

Die zunehmende Anwendung **zerstörungsfreier Prüfmethoden** für Bauteile aus Kunststoffen, Metallen, Keramiken und Verbundwerkstoffen ist einer der großen aktuellen Trends im Bereich der Material- und Bauteilcharakterisierung. Er beruht zum einen auf der Verfügbarkeit immer höher empfindlicherer Sensortechnik und zum anderen auf der Möglichkeit, riesige Mengen von anfallenden Primärdaten mit Hilfe von Software-unterstützten Verfahren auswerten und/oder korrelieren zu können – beides inzwischen durchaus innerhalb *wirtschaftlich vertretbarer Rahmenbedingungen*. Die Verfahren kommen sowohl in Prüf- und Qualitätssicherungslaboratorien, zunehmend aber auch für die Prozesskontrolle direkt bei der Fertigung der Bauteile zum Einsatz.

So kann neben einer Steigerung der Bauteilsicherheit oft auch ein Einsparpotenzial durch Verringerung von Produktionsschwankungen realisiert werden.

Bei der Wärmefluss-Thermografie wird dem Prüfobjekt (meist impulsartig) Wärme zugeführt und mit einer hochempfindlichen Infrarotkamera die zeitliche und örtliche Änderung der Temperaturverteilung registriert. Verborgene Defekte, wie Materialrisse, Inhomogenitäten, Faserbrüche oder Delaminationen stören den Wärmefluss im Prüfkörper und können daher auf diese Weise detektiert werden. Die Prüfung von Verbundmaterialien ist mittlerweile einer der wichtigsten Anwendungen der Wärmefluss-Thermografie geworden. Die Empfindlichkeit der Kamerasysteme liegt dabei oft um Größenordnungen über jener, wie sie bei herkömmlichen Thermografie-Systemen im Bereich des Bauwesens (z. B. zum Erkennen von Kältebrücken) eingesetzt werden. Die Möglichkeiten, den Wärmefluss im Prüfling anzuregen, sind sehr vielfältig: Neben Strahlern und optischen Blitzen kann auch eine Anregung mittels Ultraschall erfolgen, bei der die Wärme nicht von außen auf das zu prüfende Werkstück aufgebracht wird, sondern im Prüfling selbst (über die eingeleiteten Ultraschall-

schwingungen) induziert wird. Dabei können teilweise auch Materialdefekte festgestellt werden, die mittels optischer Anregung nicht detektierbar gewesen wären. Speziell im Metallbereich kommt auch induktive Erwärmung der Prüflinge zur Anwendung. Insbesondere für den Bereich der Verbundwerkstoffe wurden in den letzten Jahren auch Verfahren entwickelt, die Kombinationen aus thermographischen Prüfmethoden mit anderen zerstörungsfreien Verfahren nutzen, wie z. B. Thermografie & Röntgen-Technik oder aktive Thermografie & digitale Shearografie.

Bei der Shearografie wird das Prüfobjekt mit kohärentem Laserlicht beleuchtet und das Bild mittels CCD-Kamera aufgezeichnet. Durch interferometrischen Vergleich eines Bildes unter (vergleichsweise geringer) Belastung mit einem Referenzbild ohne Belastung können Defekte, Schädigungen und Verformungen – Letztere mit einer Größe von nur wenigen Mikrometern – erkannt werden. Die Belastungsart ist stark vom vermuteten Fehlertyp abhängig und wird daher meist bauteilspezifisch gewählt (z. B. Druck, Vakuum, thermische Belastung). Shearografie-Systeme stehen auch in mobiler Ausführung zur Verfügung, sodass großflächige Verbundbauteile vergleichsweise *einfach und rasch* geprüft werden können. Durch Einbindung in automatische Prüfabläufe mit Roboteranbindung wird die Methodik auch zur 100 %ige Prüfung von Verbundbauteilen (z. B. Rotorblätter von Helikoptern oder von Windkraftanlagen) eingesetzt.

Elektrisch oder magnetisch leitfähige Materialien sind online im Wirbelstrom-Prüfverfahren zerstörungsfrei bis in Tiefen von mehreren Millimetern prüfbar. Das Verfahren kann sowohl berührungslos oder im Kontakt durchgeführt werden und detektiert oberflächennahe Defekte oder Gefügefehler. Diese zerstörungsfreie Prüfmethode findet ihre Anwendung häufig bei der Prüfung von Materialien (z. B. Rohre), in der Prozesssicherung des Schweißens sowie im Bereich der Qualitätssicherung in der Automobilindustrie und bei Wartungsprüfungen. Aktuelle Entwicklungen sind im Bereich der Carbon-Fiber-Composites absehbar. Es ist bekannt, dass die Leitfähigkeit der Fasern ausreicht, um sie für die Prüfung mittels hochauflösender Wirbelstromtechnik zu nutzen. Detektiert werden können Delaminationen, Faserbrüche oder auch die Faserausrichtung an Prüflingen.[14]

Vor allem wegen der Möglichkeiten der 3D-Visualisierung kommt der Röntgen-Computertomografie (RCT), die auf der Durchstrahlung von Bauteilen mit Röntgenstrahlen basiert, steigende Bedeutung zu. Durch den Einsatz der kurzwelligen Strahlung ist *hohe Materialdurchdringung* kombiniert mit einer Auflösung von deutlich unter 1 µm möglich. Damit können innere Materialungänzen wie z. B. Poren, Risse und Einschlüsse detektiert und bezüglich ihrer Größe und Form quantifiziert werden. Mit diesem zerstörungsfreien Blick ins Innere von Materialien und Bauteilen können *wesentliche neue Erkenntnisse hinsichtlich Eigenschaften und Herstellprozessen* gewonnen werden. Die Bilderfassung erfolgt mittels spezieller Hochleistungsdetektoren, sodass die dabei generierten elektronischen Daten (Volumen-Pixel = Voxel) zur Visualisierung und weiterführenden Auswertungs- und/oder Verarbeitungsschritten zugänglich gemacht werden können. Interessant ist in diesem Zusammenhang z. B. die Überführung des Voxel-Modells in Oberflächennetze oder Punktwolken, wodurch die Ergebnisse aus der RCT für Simulationen oder CAD-Anwendungen genutzt werden können. *Dadurch wird auch ein Soll-/Ist-Vergleich von Geometriedaten möglich*. Da das Verfahren materialunabhängig ist, wird es in vielen Bereichen wie z. B. Keramik- und Baustoffindustrie, Kunststoffe oder Archäologie zunehmend zur Prüfung herangezogen.

Strukturen mit nur geringen Dichteunterschieden lassen sich im Röntgen-Absorptionskontrast nur schwer sichtbar machen. Für derartige Anwendungsfälle wurde die Röntgen-Phasenkontrasttomografie entwickelt, die – wie in der optischen Mikroskopie – die räumliche Kohärenz des „weißen Röntgenlichts" für Phasenkontrastmessungen ausnutzt und so in vielen Fällen auch die Darstellung von Strukturen mit minimalsten Absorptionsänderungen möglich macht.

Für tomographische Untersuchungen in der Material- und Bauteilprüfung wurden bisher meist Systeme auf Basis Röntgenstrahlung eingesetzt. In neuerer Zeit stehen geeignete gepulste Quellen mittels Femtosekundenlaser zur Verfügung, mit denen Terahertz-Strahlen von ausreichender Intensität erzeugt und für tomografische Untersuchungen herangezogen werden können.

Als ein mögliches Anwendungsbeispiel ist nachfolgend ein mittels RCT untersuchtes Gussteil dargestellt. In der transparenten Darstellungsweise sind deutlich die im Gussteil vorhandenen Poren ersichtlich (Abb. 1).

Die bei der Terahertz-Tomografie eingesetzte Strahlung (0,1 bis 10 THz, entsprechend einer Wellenlänge von 1mm bis 10 µm) ist vergleichsweise energiearm und nicht-ionisierend, sodass sie auch in Bereichen eingesetzt werden kann, *in denen Röntgenstrahlen aus Gründen des Arbeitnehmerschutzes nicht angewendet werden können* (z. B. in industriellen Produktionsumgebungen). Kunststoffe, Papier, viele Keramiken und nichtpolare Substanzen sind für THz-Strahlung weitestgehend transparent, während Metalle die Strahlung reflektieren. Substanzen mit

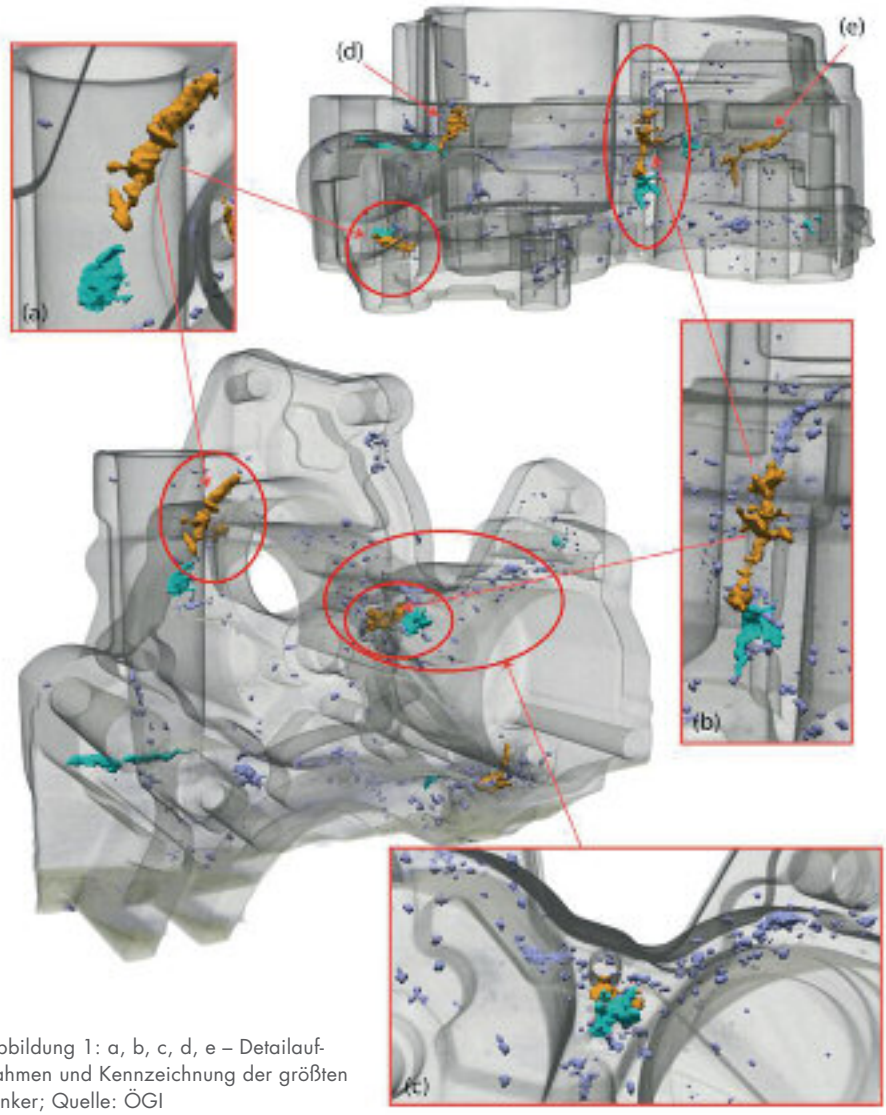


Abbildung 1: a, b, c, d, e – Detailaufnahmen und Kennzeichnung der größten Lunker; Quelle: ÖGI

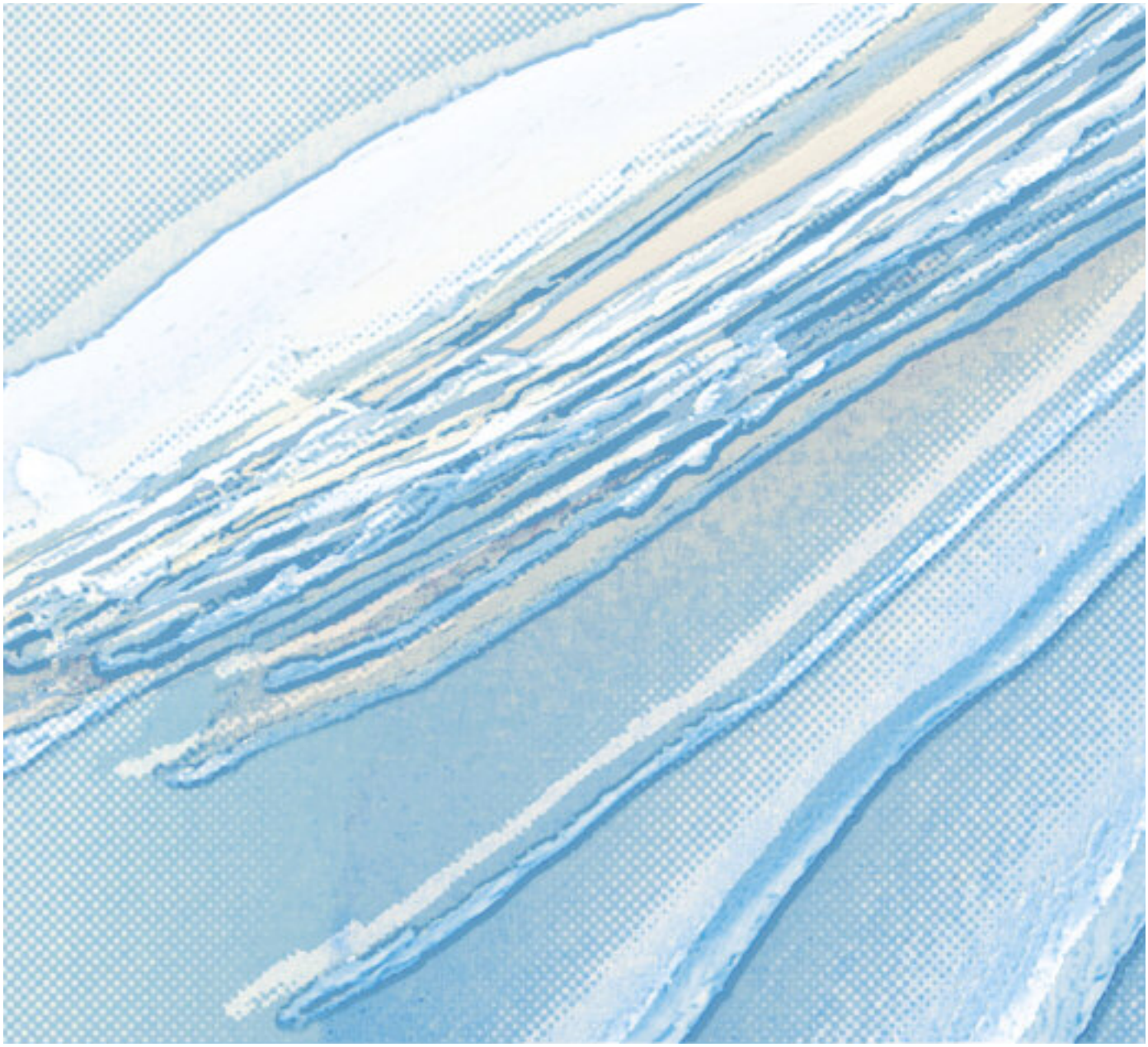
Die Röntgen-Computer-Tomografie ermöglicht es, Poren, Risse und Einschlüsse in Bauteilen leicht zu erkennen und bezüglich ihrer Größe und Form zu quantifizieren.

polaren Gruppen absorbieren charakteristische Frequenzbereiche, wodurch eine tomografische Bildgebung und Identifizierung der bestrahlten Materialien möglich wird. Durch Terahertz-Tomografie, die ein hohes Durchdringungsvermögen hat, wird die Aufklärung und Visualisierung innerer makroskopischer Strukturen von (Verbund-) Werkstoffen ermöglicht. In der industriellen Qualitätssicherung ist Terahertz-Spektroskopie von besonderem Interesse zur 3D-Rekonstruktion von Bauteilen aus verschiedenen Werkstoffen und dem Lokalisieren von darin verborgenen Anomalien und Abweichungen von Fertigungstoleranzen.

Eine Weiterentwicklung der CT stellt die Optische Kohärenztomografie (OCT) dar: Sie ist eine kontakt- und zerstörungsfreie Methode zur Visualisierung mittels Infrarotlicht. Die Methode detektiert kleinste Brechungsindex-Unterschiede im Beobachtungsvolumen. Durch interferometrische Überlagerung von Infrarotwellen, die aus verschiedenen Tiefenbereichen der Probe zurück gestreut werden, mit einer Referenzwelle, kann aus dem detektierten Signal auch Information über die Position des Streuers in der Tiefe des untersuchten Bauteils erhalten werden. Derzeit wird die OCT im industriellen Bereich zur Defektanalyse bei Glasfaser-Verbundwerkstoffen, Untersuchungen von Einzelschichten in Mehrschichtfolien, zur Schichtdickenmessung und zur Visualisierung von inneren Strukturen in Spritzgussbauteilen eingesetzt.

Ultraschallmikroskopie und Ultraschallprüfung zählen mittlerweile zu den klassischen und etablierten Verfahren in der zerstörungsfreien Bauteilprüfung. Die nur punktförmige Durchführbarkeit der Messungen, die im Fall von Bauteilprüfungen ein langwieriges Abrastern der Prüflinge erforderlich macht, sowie die in der Regel notwendige Einbringung der Proben in Wassertauchbäder sind als wesentliche *Nachteile* zu nennen. Die Prüfung mittels Ultraschall stellt speziell bei massiven Bauteilen mit hohen Wandstärken oft die einzig mögliche zerstörungsfreie Prüfmethode dar. Umgekehrt lassen sich heute mit bildgebender Ultraschall-Mikroskopie im Tauchbad hochpräzise tomographische Aufnahmen von Bauteilen aus Verbundwerkstoffen mit lateralen Auflösungen von weniger als 5 µm erzielen.[15]

Bei Prüfungen im Feld ist es aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen meist nicht möglich, einen Prüfkörper mit mehreren Messköpfen unterschiedlicher Frequenzbereiche systematisch abzutasten, um auf diese Weise die variierenden Materialkonstanten bezüglich Reflexion und Dämpfung berücksichtigen zu können. Hier kommt die Phased Array Technologie zum Einsatz, bei der der Prüfkopf aus einer Reihe von einzelnen Schwingerelementen besteht. Durch variable elektronische Ansteuerung kann das Schallfeld gezielt moduliert werden und so mehrere Einschallwinkel oder Prüfzonen (Sectorscans) erzeugt werden. Phased Array-Prüfköpfe werden zur Schweißnahtprüfung, zur Prüfung von Metallen und zum Untersuchen von Bauteilen aus Verbundwerkstoffen, wie glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK) oder carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK), eingesetzt. Das Verfahren ermöglicht eine Aussage darüber, in welcher Tiefe die Fehler im Bauteil oder in der Schweißnaht liegen. Diese Technologie wird stetig weiterentwickelt, sodass nicht nur die klassischen Einsatzgebiete wie Luftfahrt, Schweißnaht- oder Korrosionsprüfung, und auch die Charakterisierung komplexer Geometrien und schwer zugänglicher Bauteilbereiche abgedeckt und verbessert werden, sondern sich auch *immer wieder neue Möglichkeiten*, z. B. im Bereich der Niederdruckturbinen, der Überprüfung von Pipelines oder der Verbundwerkstoffe von Raketendüsen, erschließen.[16,17,18]



Die Ultraschallmikroskopie wird heute nicht nur zur Detektion von Anomalien eingesetzt, sondern auch zur Bestimmung von physikalischen Parametern und Materialkonstanten und in weiterer Folge zur Lebensdauerabschätzung. Während bei klassischen Ultraschall-Messverfahren die Probe de facto in direktem Kontakt mit dem Messkopf stehen muss, erfolgt bei der sogenannten Laser-Ultraschall-Technologie (LUS) die Energieübertragung durch einen Laserlicht-Impuls im Nano- oder Pikosekundenbereich, welcher im Probenmaterial selbst Ultraschallwellen erzeugt, mit deren Hilfe Störstellen erfasst werden können. Der große Vorteil der LUS ist somit das *berührungslose Prüfen*, z. B. wenn ein Kontakt mit Ultraschallkoppel - mittel/Wasser nicht möglich ist (heiße/glühende Medien, nicht rostfreier Stahl) oder wenn *extrem schwer zugängliche Stellen* untersucht werden sollen: Da die Probe selbst (über den eingebrachten Laserimpuls) der Ultraschall-Erzeuger ist und die Ausbreitungsrichtung der Wellen bestimmt, ist es nebensächlich, unter welchem Winkel der Laserstrahl auf die Probe auftrifft.[19] Sind extrem hohe Auflösungen (z. B. zur Beurteilung von sehr dünnen Schichten) notwendig, so kann das sogenannte modulierte Laser-Ultraschall-Verfahren zum Einsatz kommen: Dabei werden bestimmte Frequenzen des Lasers amplitudenmoduliert und mit einem entsprechend frequenzangepassten Detektor ausgewertet. Diese

Mit bildgebender Ultraschall-Mikroskopie lassen sich hochpräzise tomographische Aufnahmen von Verbundbauteilen mit Auflösungen im Mikrometer-Bereich erzielen.

Methode findet auch Einzug bei der Schichtdickenbestimmung und der Ermittlung von elastischen Eigenschaften von dünnen Schichten und Beschichtungen. Bisher wurde diese Technologie noch kaum industriell eingesetzt, jedoch wird an der Technologie und Umsetzung derzeit noch im Rahmen verschiedenster Entwicklungsprojekte gearbeitet.[20]

Die Lasertriangulation ist ein in der Qualitätssicherung und Prozessüberwachung einsetzbares, berührungsloses optisches Messverfahren, das auf trigonometrischen Zusammenhängen beruht. Es trägt dem Faktum Rechnung, dass die in vielen Fällen geforderte 100 %ige Kontrolle im Fertigungstakt der Bauteile nicht mehr mit Hilfe manueller Messverfahren (z. B. mit Lehren) oder mittels Koordinatenmessmaschinen vorgenommen werden kann.

Beim sogenannten Laserlicht-Schnittverfahren wird z. B. eine Laserlinie auf das Messobjekt projiziert, von einer Kamera erfasst und mit einem Rechner ausgewertet. Fehler (z. B. Poren, Porosität) ändern die Entfernung des auftreffenden Laserstrahls zur Kamera und können so auch automatisiert detektiert werden.[21] *Durch den vergleichsweise einfachen Messaufbau, die geringen Kosten und einer relativ kurzen Messdauer ist das Verfahren heute schon weit verbreitet.* Das Anwendungsgebiet dieser Messmethode liegt in der Qualitätskontrolle elektronischer Bauteile sowie in der fertigungsintegrierten Vermessung von Schweißnähten und Faserverbundbauteilen. Vorteile liegen in der Robustheit und der hohen Auflösung bei der Vermessung von Schweißnähten, die wiederum ein großes Inspektionsfeld und eine hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit ermöglichen. Dieses Messverfahren liefert ein Instrument zur Qualitätssicherung und Prozessüberwachung, wobei auch automatisierte Lösungen, die die Prozesse automatisch überwachen, einsetzbar sind.

Bei der Schwingungsprüfung werden Proben zu Schwingungen angeregt und aus der Schwingungsanalyse Informationen über z. B. Materialkennwerte oder die zu erwartende Lebensdauer abgeleitet; die Verfahren unterscheiden sich je nach Werkstoff der Proben deutlich. Metallische Bauteile werden mittels piezoelektrischer Ultraschallgeber zu Schwingungen angeregt; über Spektralanalyse des Schwingungsspektrums werden sodann Materialkennwerte (E-Modul, Schubmodul, Poissonzahl in Abhängigkeit von der Temperatur) ermittelt. Diese speziell für Finite Elemente Berechnungen notwendigen Kenngrößen können somit belastungsunabhängig und insbesondere auch für Kompositwerkstoffe ermittelt werden.

Die dynamischen Eigenschaften von Elastomeren sind abhängig von verschiedenen Einflussgrößen (z. B. Frequenz, Lastamplitude, Temperatur), die wiederum großen Einfluss auf die Betriebsfestigkeit des Bauteils haben. Elastomerbauteile unterliegen im realen Betrieb mehrachsigen Belastungen; einachsige Prüfungen weichen von den Versuchsergebnissen mehrachsiger Experimente häufig ab. Typische Prüfobjekte für multiaxiale Lebensdauerprüfung sind Elastomer-Verbundbauteile bei Schienenfahrzeugen. Diese Bauteile unterliegen häufig relativ großem Verschleiß und stellen zudem oft sicherheitsrelevante Bauteile dar. Aus diesem Grund sind, um die Sicherheit der Produktqualität zu gewährleisten, mehrachsige Betriebsfestigkeitsprüfungen unumgänglich.[22]

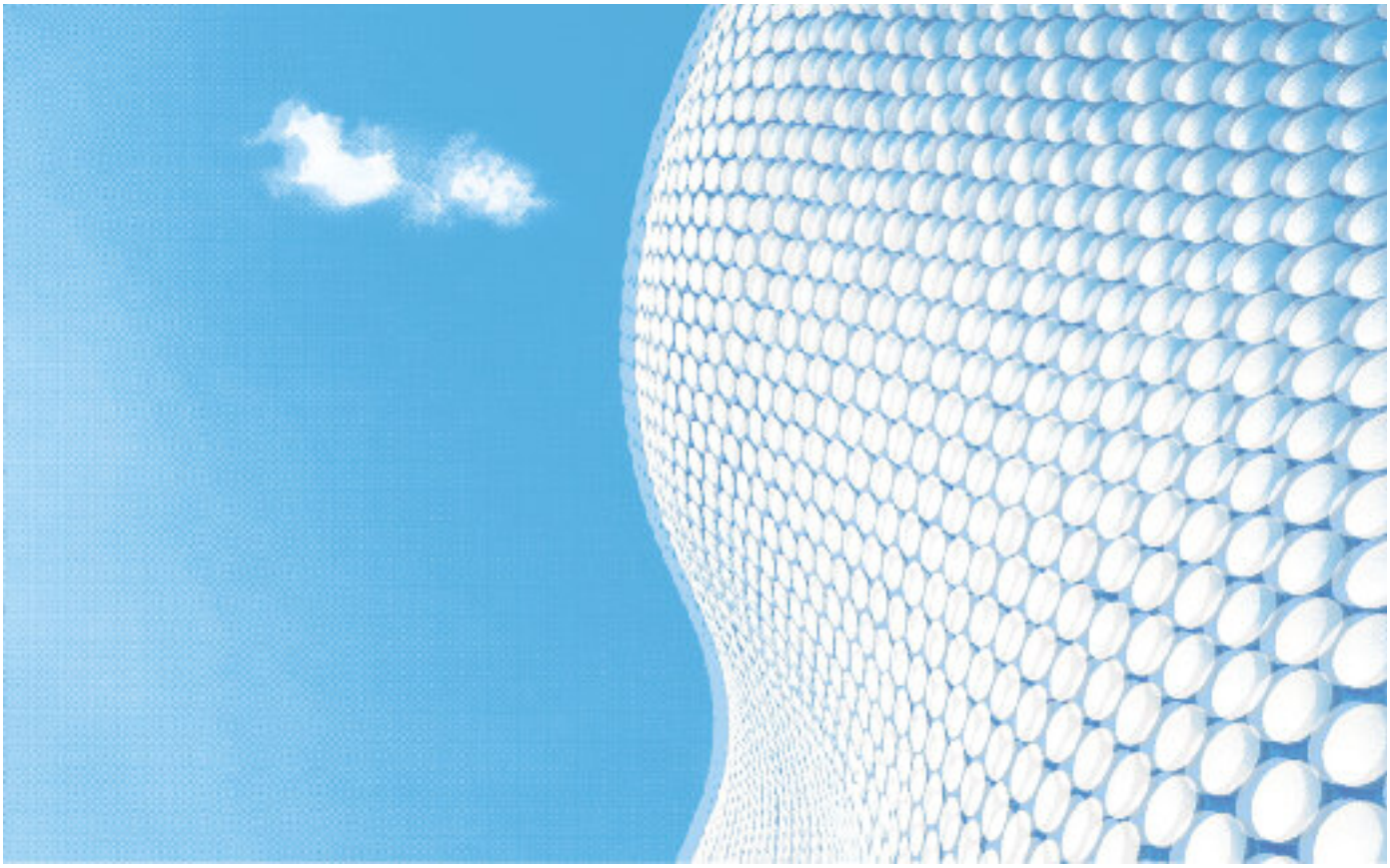
In der **Holzwirtschaft** stellen Schwingungsprüfungen und damit zerstörungsfreie Prüfungen ebenfalls eine Möglichkeit der Materialcharakterisierung dar. Aktuelle Entwicklungen zeigen, dass das Aufkommen von Laubholz in den nächsten Jahrzehnten ansteigen wird. Laubhölzer weisen aufgrund ihrer unter-

schiedlichen Struktur und Ausprägung deutlich unterschiedliche Festigkeits-, Steifigkeits- und Rohdichtekennwerte auf. Die Zusammenhänge können bei unterschiedlichen Laubholzarten deutlich voneinander abweichen. Mit Verbesserungen im Bereich der zerstörungsfreien Untersuchungsmethoden ist auch mit einem Einsatz von Laubholz als Konstruktionswerkstoff zu rechnen. Der Rohstoff Holz weist insgesamt von vornherein eine natürliche Streuung seiner Eigenschaften auf, die die Streuung von technisch hergestellten Produkten bei weitem übersteigt. Um Holz überhaupt im Bauwesen verwenden zu können, muss dieser Streuung durch Sortierung des Schnittholzes begegnet werden. Dabei spielen die drei Kennwerte Festigkeit, Elastizitätsmodul und Rohdichte eine entscheidende Rolle. Während die Rohdichte mit geringem Aufwand bestimmbar ist, konnte die Festigkeit bisher nur durch zerstörende Versuche genau bestimmt werden. Damit diese auch zerstörungsfrei abgeschätzt werden kann, wird (neben anderen Verfahren) die Schwingungsmessung eingesetzt. Anhand zahlreicher Versuche wurde ein guter Zusammenhang zwischen dem dynamischen Elastizitätsmodul und der Festigkeit bestätigt. Das Grundprinzip der Schwingungsmessung ist dabei die Ermittlung der Eigenfrequenz, um den dynamischen Elastizitätsmodul eines Rund- oder Schnittholzes zu ermitteln. In der Praxis wird das untersuchende Holz durch einen Schlag auf die Stirnseite zu Schwingungen angeregt und diese durch Laser oder Mikrofone erfasst. *Nachteilig* wirkt sich hier derzeit die Feuchte- und Temperaturabhängigkeit des dynamischen Elastizitätsmoduls auf die Vorhersage der Festigkeitswerte aus. Maschinelle Systeme werden solche Abhängigkeiten z. B. über die Bestimmung des Anteils an gefrorenem Wasser im Holz berücksichtigen müssen, damit die Vorhersagegenauigkeit gesteigert werden kann. Aktuell wird an der Anwendung der Schwingungsmessung auch an Rundhölzern gearbeitet.[23] Dadurch stünden im Sägewerk zu einem wesentlich früheren Zeitpunkt Informationen zur Qualität eines Rundholzes zur Verfügung, was wiederum Rückschlüsse auf die wahrscheinlich zu erwartenden Qualitäten des Schnittholzes zuließe. Der Einsatz entsprechender **maschineller Sortiersysteme** bietet die Möglichkeit, die natürliche Streuung des Holzes „in den Griff" zu bekommen. Es wird möglich, das Ausgangsmaterial entsprechend der Qualität einzuteilen und auf diese Weise die Wertschöpfung aus einem Stamm zu erhöhen. Da nicht alle Schnitthölzer, die „schön aussehen" auch fest sind und sich für den tragenden Einsatz eignen, bietet die maschinelle Sortierung eine objektive Möglichkeit zur Qualitätserkennung. Darüber hinaus ist es möglich, den Anteil an Schnittholz, das nicht weiterverwendet werden kann, zu senken und damit die Ausbeute zu erhöhen.

Die Eigenschaften von Werkstoffen und Bauelementen werden in hohem Ausmaß auch von der Mikro- und Nanostruktur beeinflusst. Daher steigt die Bedeutung der **mikroskopischen und nanoanalytischen Untersuchungsmethoden** in der praktischen Materialforschung und Fehleranalytik.[24,25]

Als wichtigste technologische Entwicklungen im Bereich der Lichtmikroskopie sind das 3D-Lichtmikroskop sowie das konfokale Lichtmikroskop anzusehen: Beim 3D-Lichtmikroskop können durch Fokus-Variation größere Probenbereiche in Bezug auf ihre Form und Rauigkeit mit einer Genauigkeit von bis zu 10 nm vermessen werden; das konfokale Lichtmikroskop kommt auf Grund seiner hohen axialen Auflösung vor allem bei biologischen und medizinischen Problemstellungen zum Einsatz.

Rasterelektronenmikroskopie (SEM) ist eine inzwischen schon weit verbreitete



Untersuchungsmethode, die aussagekräftigere Informationen als die klassische Lichtmikroskopie liefert (mit einer *wesentlich besseren Auflösung und Tiefenschärfe*). In Verbindung mit Röntgenspektroskopie kann die chemische Zusammensetzung von Materialien mit Mikrometer-Auflösung rasch und effizient analysiert werden. *Ein für KMU interessanter Trend besteht in der Einführung von kleinen, günstigen SEM* (so genannte „table-top"-Geräte), die jedoch nicht an die Leistungsfähigkeit herkömmlicher Geräte herankommen, sondern häufig in einem ähnlichen Vergrößerungsbereich wie bei der Lichtmikroskopie eingesetzt werden. Mit Einführung des „Environmental"-Rasterelektronenmikroskops (ESEM) konnte der Anwendungsbereich von SEM auf feuchte Proben und dynamische mikroskopische Untersuchungen erweitert werden. Bei dieser „in-situ"-Mikroskopie kann der Ablauf physikalischer und chemischer Prozesse bei Vergrößerung im Mikro- und Nanobereich direkt beobachtet werden. Typische praktische Anwendungen sind etwa die Hochtemperaturkorrosion von Stählen, das Bruchverhalten von Materialien oder Quellvorgänge in Textilien.

Im Falle organischer Materialien, wie etwa Kunststoffe oder Biomaterialien, können mit Hilfe von Infrarot- oder Raman-Mikroskopen oft wichtige Erkenntnisse über lokale Änderungen chemischer Bindungen, Materialzusammensetzungen und/oder kristalliner Strukturen erzielt werden („chemical imaging"). Speziell im Bereich von Phasengrenzflächen können auf diese Weise z. B. Stoffübergänge (Weichmacher-Wanderungen etc.) zwischen den einzelnen Phasen oder z. B. auch die Eindringtiefe chemischer und/oder oxidativer Oberflächenschädigungen nachgewiesen werden. Das laterale Auflösungsvermögen der beiden Methoden liegt in der Regel bei etwa 10 µm, im Falle der konfokalen Raman-Mikroskopie werden Tiefenauflösungen von unter 2 µm erreicht.

Für die Erfassung lokal eng begrenzter Phänomene, wie z. B. die Chemie an inneren Grenzflächen, die Charakterisierung von Sekundärphasen in Festkörpern und deren Wechselwirkung mit der Festkörpermatrix oder aber auch für die Charakterisierung der Struktur von einzelnen Nanoteilchen ist die Auflösung der bisher genannten mikroskopischen Methoden in vielen Fällen nicht ausreichend. Mit Hilfe der Transmissionselektronenmikroskopie (TEM), deren Auflösung im Bereich von einem Zehntel Nanometer (ein Milliardstel Millimeter) liegt, können derartige

Die Rasterelektronenmikroskopie liefert wesentlich aussagekräftigere Informationen als die klassische Lichtmikroskopie. Mit Hilfe spezieller Aufnahmetechniken sind auch Untersuchungen feuchter Proben sowie dynamische in situ-Analysen möglich.

Phänomene umfassend charakterisiert werden – teilweise sogar mit atomarer Auflösung.[26] In Verbindung mit der Focused-Ion Beam Methode (FIB) können aus Werkstoffen und Bauelementen in sehr kleinen Probenbereichen (lokale Defekte) zielgenau Proben entnommen und im TEM analysiert werden (z. B. Analyse von Materialdefekten, Korngrenzen in Werkstoffen, dem Aufbau von elektronischen Bauelementen, Materialbeschichtungen und Biomaterialien). Aufgrund der aufwändigen Probenpräparation, der teuren und schwierig zu bedienenden Mikroskope müssen TEM und FIB in speziellen Labors mit kritischer Größe z. B. an Universitäten und außeruniversitären Forschungsinstituten aufgebaut werden, die in den meisten Fällen dann auch für KMU zur Verfügung stehen.

Für die lateral aufgelöste Visualisierung der Oberflächenmorphologie (Rauigkeit, Topografie) bieten sich verschiedene Methoden der Rastersondenmikroskopie an: Profilometer sind aufgrund der raschen Messzeit nahezu ideal, wenn lediglich Linienprofile von Interesse sind, während die Rasterkraftmikroskopie (AFM) durch den quantitativen dreidimensionalen Charakter inzwischen ein zentrales Element der Oberflächencharakterisierung darstellt.

Koordination:
DI Udo Pappler (ofi)

AutorInnen:
Dr.-Ing. Julia Denzler (HFA)
DI Udo Pappler (ofi)
DI Gerhard Schindelbacher (ÖGI)
DI Dr. Klaus Wichart (SZA)
Prof. DI Dr. Ferdinand Hofer
(ZFE Graz)

LITERATUR

1 „Presseinformation VII/2011: Kupfer und Aluminium, eine feste Verbindung – Fraunhofer IWS Dresden auf der Messe LASER 2011“, http://www.iws.fraunhofer.de/presse/2011/pr1107.html (September 2011)
2 „Fügen von Al-Cu-Mischverbindungen – Technologien für die Elektromobilität“, IWS Dresden, http://www.iws.fraunhofer.de/pub/info_pdf_neu/300-4_al-cu-verbindungen_de.pdf (September 2011)
3 „Presseinformation V/2008: Induktiv unterstütztes Laserwalzplattieren – Fraunhofer IWS Dresden auf der Messe „O&S vom 3.-5. Juni 2008 in Stuttgart“, IWS Dresden
4 Fraunhofer IWS Dresden, http://www.iws.fraunhofer.de/de/presse-undmedien/presseinformationen/2008/presseinformation_2008-05.html (Dezember 2011)
5 „Walzplattierte Kupfer-Aluminium-Verbinder“, IWS Dresden, Fraunhofer IWS Jahresbericht 2010
6 Fraunhofer IWS Dresden, http://www.iws.fraunhofer.de/presse/2011/download/p11_05_jb_42-43.pdf (September 2011)
7 Patentschrift AT 413 502 B „ Verfahren zum Verbinden von Stahl- und Aluminiumbauteilen mittels Schmelzschweißen“, Schweißtechnische Zentralanstalt SZA, Dr. Dipl.-Ing. Klaus Wichart, Wien (AT), Ausgabetag: 15.3.2006
8 Schweißtechnische Zentralanstalt SZA, Projektberichte und Präsentationen, 2006-2009.
9 „Einsatz von Bimetallen für Hybridverbindungen“, Wichart, K. et al., Schweiß- &Prüftechnik. JOIN Sonderband: S.28-31 (2009)
10 Fa. STIRZONE Cool Welding: http://www.stirzone.at, September 2011
11 „Anwendungsmöglichkeiten von Rührreibschweißen“, Weinberger, T.; Enzinger N., Metall. 09 (2008): S. 24-27
12 „Metall mit organischem Material verpinnen – Pinnen, was nicht zu schweißen ist“, Österreichische Betriebstechnik. 3/4 (2010): S. 48.

13 „Multi-Material Joints for Manufacturing of Trend-Setting Hybrid Components“, Jank, N.; Waldhoer, A., Stieglbauer, W.; Fronius International GmbH, Sheet Metal Welding Conference XIV, Mai 2010
14 „Wirbelstromprüfverfahren zur Volumensinspektion von CFK-Platten“, Fraunhofer Institut IZFP Dresden, http://www.izfp-d.fraunhofer.de/assets/downloads/2009-lur-sens.pdf (Jänner 2012)
15 „Vergleich von Ultraschallprüftechniken zum quantitativen Fehlernachweis und zur Fehlergrößenbewertung“, Walte, Friedhelm; Li, Xuezheng, http://www.ndt.net/article/dgzfp2010/Inhalt/di1b1.pdf, DGZfP-Jahrestagung 2010
16 „Bildgebende Ultraschallprüfung in Prüfanlagen und manuellen Anwendungen“, Berke, Michael; Büchler, Johannes, http://www.ndt.net/article/dgzfp07/Inhalt/v04.pdf, DGZfP-Jahrestagung 2007
17 “Introduction to Phased Array Ultrasonic Technology Applications – Advanced Practical NDT Series”, Olympus, http://www.olympus-ims.com/data/File/book-1/Olympus-Introduction_to_Phased_Array.en.pdf (Jänner 2012)
18 „Advances in Phased Array Ultrasonic Technology Applications“, Olympus, http://www.olympus-ims.com/data/File/books/Olympus-Advances_in_Phased_Array.en.pdf (Jänner 2012)
19 Projektdatenblatt „Laserultraschall“, http://www.recendt.at/files/LUS_deutsch.pdf (September 2011)
20 Projektdatenblatt „Modulierter Laser-Ultraschall zur Vermessung dünner Schichten“, http://www.recendt.at/files/LUS_MODULIERT_deutsch.pdf (September 2011)
21 „Lasertechnik für die Fertigung: Grundlagen, Perspektiven und Beispiele für den innovativen Ingenieur“, Poprawe, Reinhart, Springer (2005)
22 „Schweißtechnik – Im Labor erprobt“, Staufer, Martin, Metall 4 (2011): S. 24–27
23 „Timber in Material, Building and Environmental Research“, K-Projekt
24 „Handbuch der Nanoanalytik Steiermark 2010“, 2. Auflage, 2010, Herausgeber Werner, Ferdinand Hofer und Siegfried Psutka, Graz (2010)
25 “Proceedings of the Microscopy Conference 2009”, Bände 1–3, Graz, Verlag der Technischen Universität Graz (2009) ISBN 978-3-85125-062
26 „Elektronenmikroskopie“, C. Colliex, H. Kohl, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart (2008)

ACR-Institute

Austria Solar Innovation Center (ASiC)
www.asic.at

Bautechnisches Institut Linz (BTI)
www.bti.at

Bautechnische Versuchs- und Forschungsanstalt Salzburg (bvfs)
www.bvfs.at

Forschungsgesellschaft für Wohnen, Bauen und Planen (FGW)
www.fgw.at

Güssing Energy Technologies (GET)
www.get.ac.at

Holzforschung Austria (HFA)
www.holzforschung.at

Institut für Brandschutztechnik und Sicherheitsforschung (IBS)
www.ibs-austria.at

KMU Forschung Austria (KMFA)
www.kmuforschung.ac.at

Lebensmittelversuchsanstalt (LVA)
www.lva-verein.at

Österreichisches Forschungsinstitut für Chemie und Technik (ofi)
www.ofi.at

Österreichisches Gießerei-Institut (ÖGI)
www.ogi.at

Österreichisches Institut für angewandte Telekommunikation (ÖIAT)
www.oiat.at

Schweißtechnische Zentralanstalt (SZA)
www.sza.info

Versuchsanstalt für Getreideverarbeitung (VFG)
www.vfg.or.at

Versuchs- und Forschungsanstalt der Hafner Österreichs (VFH)
www.kachelofenverband.at

Forschungsinstitut der Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (VÖZFI)
www.zement.at

Zentrum für Elektronenmikroskopie Graz (ZFE Graz)
www.felmi-zfe.at

ACR – AUSTRIAN COOPERATIVE RESEARCH
FORSCHUNGSEXPERTEN FÜR KMU
Haus der Forschung, Sensengasse 1, 1090 Wien
Tel. +431/219 85 73, Fax +431/219 85 73-13
office@acr.at, www.acr.at

Chefredaktion/Projektkoordination:
Sascha Ruhland, M.A./KMU Forschung Austria,
ACR-Geschäftsstelle
Layout: Alexander Ach Schuh

März 2012

mit freundlicher
Unterstützung

bmwfj
Bundesministerium für
Wirtschaft, Familie und Jugend